Biografia fizicii

george gamow

BIOGRAFIA FIZICII

George Gamow

ILUSTRATĂ DE AUTOR

EDITURA ȘTIINȚIFICĂ • BUCUREȘTI 1971

Prefață

Există două tipuri de cărți despre fizică. Primele sînt manualele, concepute pentru a expune cititorilor faptele și teoriile fizicii. Cărțile de acest gen omit, de obicei, aspectele istorice ale dezvoltării științei, iar singurele informații referitoare la marii savanți din trecut sau din prezent sînt limitate la anul nașterii sau morții fiecăruia, trecute în paranteze după nume.

Cel de al doilea tip îl constituie cărțile cu caracter istoric, cuprinzînd date biografice în care sînt conturate personalități de seamă din lumea oamenilor de știință și scoase în evidență descoperirile acestora, presupunîndu-se că cititorul care studiază istoria unei științe este familiarizat cu conținutul ei.

În această carte am încercat să mă situez pe o cale de mijloc, expunînd în mod egal experiențele lui Galilei și legile de bază ale mecanicii descoperite de el, sau amintiri personale despre Niels Bohr, alături de descrierea amănunțită a renumitului său model atomic.

Fiecare dintre cele opt capitole cuprinde cel mult una sau două figuri centrale de oameni de știință, ceilalți fizicieni contemporani lor, și aportul lor științific, formînd fondul lucrării. Aceasta explică lipsa multor nume care ar trebui să figureze într-o lucrare de istorie a fizicii, precum și lipsa multor subiecte considerate „obligatorii" în manualele obișnuite de fizică.

Scopul acestei cărți este de a-l face pe cititor să înțeleagă *ce este fizica* și *ce fel de oameni* sînt fizicienii, și să-l atragă în așa măsură, încît să caute și alte lucrări, mai cuprinzătoare, despre acest subiect.

Cînd citim despre marii oameni de ştiinţă din trecut sau contemporani, este întotdeauna de dorit să le cunoaştem şi portretele. Datorită însă numărului limitat de pagini acordat pentru reproducerea fotografiilor, am hotărît să le folosesc doar pentru ilustrarea diverselor fenomene fizice, ca: spectre, difracţia electronilor şi traiectoriilor nucleare în camera cu ceaţă etc. De aceea portretele fizicienilor celebri le-am executat în peniţă, reproducîndu-le direct în text. Nefiind un artist, am fost obligat să folosesc unele metode ajutătoare, ca proiectarea clişeelor fotografice pe hîrtie de desen, iar rezultatele mi s-au părut suficient de reuşite pentru a justifica includerea lor.

Sper că această carte va da tinerilor cercetători (poate chiar şi unora dintre cei mai vîrstnici) îndemnul de a aprofunda studiul fizicii, acesta fiind de fapt şi scopul ei principal.

GEORGE GAMOW

Universitatea din Colorado

I

Zorii fizicii

Este tot atît de greu să se stabilească originea ştiinţei fizicii pe cît este de dificilă precizarea izvoarelor unor mari rîuri. Cîteva izvoraşe firave murmură sub desişul verde al vegetaţiei tropicale sau picură de pe stîncile acoperite de muşchi din sterpele ţinuturi nordice; cîteva mici pîrîiaşe, aleargă vesele pe pantele munţilor, unindu-se în rîuleţe, care, la rîndul lor, se adună formînd cursuri de apă suficient de mari pentru a le putea numi „rîuri". Rîurile cresc, sînt din ce în ce mai largi şi, strîngînd în cale numeroşi afluenţi, devin în cele din urmă fluvii puternice — fie Mississippi sau Volga, fie Nilul sau Amazonul — ce-şi poartă apele spre oceane.

Izvoarele care au dat naştere marelui fluviu al ştiinţei fizicii au fost răspîndite pe întreaga suprafaţă a globului terestru locuită de *Homo sapiens*, adică de omul care gîndeşte.

Se pare totuşi că cele mai multe dintre ele au fost concentrate în extremitatea sudică a Peninsulei Balcanice, locuită de poporul cunoscut astăzi sub denumirea de „vechii greci"; sau poate aşa ni se pare nouă, celor care am moştenit cultura acestor înaintaşi „intelectuali".

Este interesant de subliniat faptul că în timp ce alte popoare vechi, ca de pildă, cele din Babilon şi Egipt, au avut o contribuţie majoră la primele dezvoltări ale matematicii şi astronomiei, ele au fost cu desăvîrşire sterile în ceea ce priveşte evoluţia fizicii.

O explicaţie posibilă a acestei rămîneri în urmă, în comparaţie cu ştiinţa greacă, este aceea că zeii Babilonului şi Egiptului trăiau în cer, printre stele, în timp ce zeii vechi-

lor greci vieţuiau doar la aproximativ 3 000 m înălţime pe vîrful muntelui Olimp, aflîndu-se deci mult mai aproape de problemele pămînteneşti.

După legendă, termenul „magnetism" ar proveni de la numele unui păstor grec μαγνης (Magnis), care a rămas uimit cînd a observat că vîrful bîtei sale de fier era atras de un bolovan (un minereu de fier magnetic) întîlnit în cale, pe potecă.

La fel, termenul „electricitate" provine de la cuvîntul grec ηλεκτρον (electron), care înseamnă chihlimbar, datorită poate altui păstor elen, care, încercînd să lustruiască vreo bucată de chihlimbar, frecînd-o de blana uneia dintre oile sale, a observat că ea capătă ciudata proprietate de a atrage aşchii mici de lemn.

LEGEA PITAGOREICĂ A COARDELOR

În timp ce aceste descoperiri legendare şi-ar găsi cu greu o bază în orice încercare de stabilire legală a priorităţii, descoperirea filozofului grec Pitagora, care a trăit pe la jumătatea secolului al VI-lea î.e.n., este bine documentată.

Convins fiind că lumea este guvernată de numere, el a cercetat legătura dintre lungimile coardelor de la instrumentele muzicale care produc combinaţii armonice de sunete.

În acest scop a folosit aşa-numitul monocord, adică o singură coardă a cărei lungime poate fi variată şi care poate fi supusă la diverse tensiuni (întinderi) cu ajutorul unor greutăţi suspendate. Folosind aceeaşi greutate, dar variind lungimea coardei, el a stabilit că perechile de tonuri armonice se obţin cînd lungimile coardei se găsesc în anumite relaţii numerice simple. Raportul 2/1 al acestor lungimi corespunde cu ceea ce se cunoaşte sub numele de „octavă", raportul 3/2 cu „cvinta", iar raportul 4/3 cu „cvarta". Această descoperire a reprezentat, probabil, prima formulare matematică a unei legi fizice şi poate fi considerată, pe bună dreptate, ca primul pas făcut spre dezvoltarea a ceea ce cunoaştem astăzi ca fizică teoretică. În terminologia fizicii moderne putem reformula descoperirea lui Pitagora, spunînd că *frecvenţa*, adică numărul de vibraţii pe secundă al unei coarde date, supusă unei anumite tensiuni, este invers proporţională cu lungimea ei.

Astfel, dacă o a doua coardă (fig. I-1 *b*) are jumătate din lungimea primei coarde (fig. I-1 *a*), frecvenţa vibraţiilor ei va fi de două ori mai înaltă.

Dacă lungimile celor două coarde se găsesc în raportul 3/2 sau 4/3, frecvenţele vibraţiilor lor se vor găsi în raportul 2/3 sau 3/4 (fig. I-1 *c*,*d*).

Deoarece acea regiune a creierului omenesc care primeşte semnalele nervoase de la ureche este astfel construită, încît rapoartele simple ale frecvenţelor (ca 3/4) îi produc „plăcere", în timp ce rapoartele complexe (ca 137/171) îi produc „neplăcere" (şi specialiştii viitori în fiziologia creierului vor trebui să explice acest fapt!), lungimile coardelor care produc acorduri perfecte trebuie să se găsească în rapoarte numerice simple.

Pitagora a încercat să facă un pas mai departe, presupunînd că deoarece mişcarea planetelor trebuie „să fie armonioasă", înseamnă că distanţele lor faţă de Pămînt trebuie să se găsească în aceleaşi rapoarte ca şi lungimile coardelor (supuse la tensiuni egale) lirei — instrumentul muzical, naţional, al grecilor — care produc cele şapte tonuri fundamentale. Această presupunere a fost, probabil, primul exemplu de ceea ce se numeşte adesea în zilele noastre „o teorie fizică patologică".

DEMOCRIT, ATOMISTUL

O altă teorie fizică importantă, care în terminologia modernă ar putea fi numită „o teorie fără nici o bază experimentală", dar care s-a dovedit „visul ce devine realitate", a fost propusă de un alt filozof din Grecia antică, Democrit, care a trăit, a gîndit şi a învăţat în jurul anului 400 î.e.n.

Democrit considera că toate corpurile materiale sînt compuse din nenumărate particule atît de mici, încît sînt invizibile ochiului omenesc. El numea aceste particule *atomi*, adică indivizibili (ατομος în limba greacă), deoarece considera că ele reprezintă ultima posibilitate de divizare a corpurilor materiale în părţi din ce în ce mai mici. Democrit mai credea că există patru tipuri diferite de atomi: atomi de piatră, uscaţi şi grei; atomi de apă, grei şi umezi; atomi de aer, reci şi uşori şi atomii de foc, jucăuşi (lunecoşi) şi

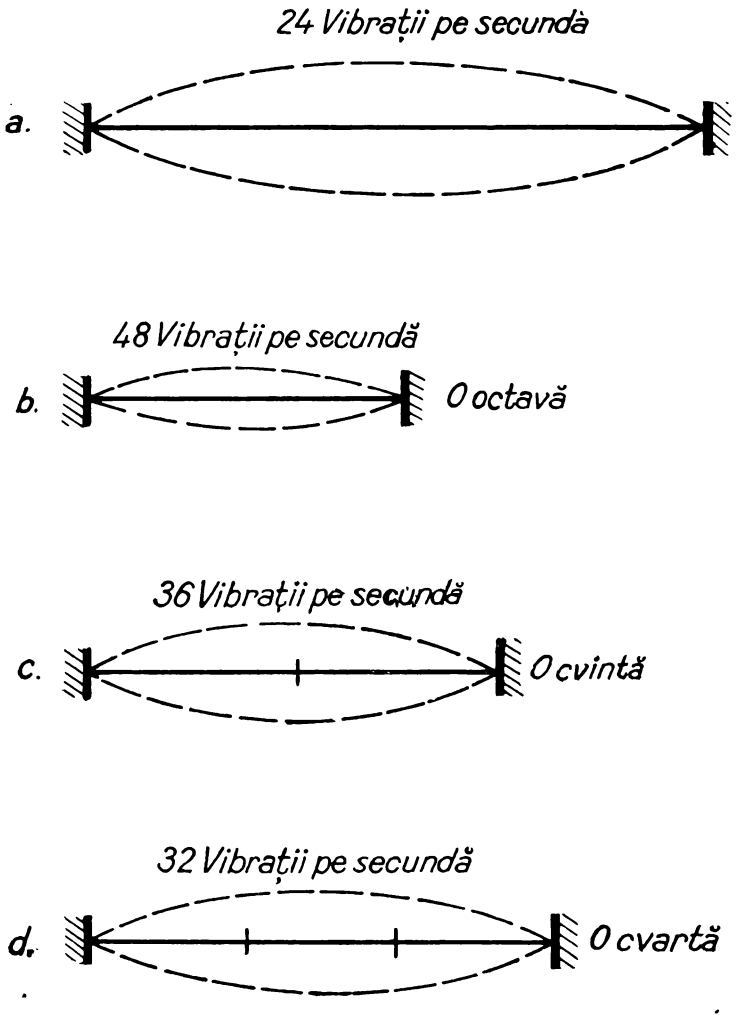


FIG. I-1 Legea pitagoreică a coardelor: *a* — 24 vibrații/s; *b* — 48 vibrații/s, o octavă; *c* — 36 vibrații/s, o cvintă; *d* — 32 vibrații/s, o cvartă.

calzi. El presupunea că toate materialele cunoscute se formează prin combinarea acestor patru tipuri diferite de atomi. În concepţia lui solul era o combinaţie de atomi de piatră şi de apă. Planta care creşte din pămînt sub influenţa razelor solare era considerată ca fiind compusă din atomi de piatră şi de apă din sol şi din atomii de foc proveniţi din Soare. De aceea, butucii uscaţi, de lemn, care au pierdut toţi atomii de apă, vor arde eliberînd atomii de foc (flăcările) şi rămînînd atomii de piatră (cenuşa). Cînd anumite feluri de pietre (minereuri metalice) sînt introduse în foc, atomii de piatră se unesc cu atomii de foc formînd diversele metale. Metalele ieftine (comune), ca fierul, conţin cantităţi foarte mici de atomi de foc şi de aceea nu au o valoare prea mare. Aurul are însă cantitatea cea mai mare de atomi de foc şi de aceea este strălucitor şi valoros. Prin urmare, dacă cineva ar izbuti să furnizeze fierului simplu mai mulţi atomi de foc, atunci ar fi în stare să-l transforme în aur preţios!

Un student care ar da un astfel de răspuns la un examen de admitere la chimie ar obţine, fără îndoială, abia gradul F*.

Deşi aceste exemple particulare asupra naturii transformărilor chimice erau sigur eronate, ideea fundamentală de a obţine un număr aproape nelimitat de diferite substanţe prin combinarea doar a cîtorva elemente chimice de bază a fost, fără îndoială, corectă şi stă şi astăzi la baza chimiei. Dar au trebuit să treacă 22 de secole, de la Democrit pînă la Dalton, pentru ca lucrurile să fie lămurite.

FILOZOFIA ARISTOTELICĂ

Unul dintre giganţii gîndirii din vechea Eladă a fost cel care, pe nume Aristotel, a devenit celebru pentru două considerente: în primul rînd, pentru că a fost într-adevăr un geniu; în al doilea rînd, pentru că a fost profesorul şi, mai tîrziu, protejatul lui Alexandru cel Mare al Macedoniei. S-a născut în anul 384 î.e.n. în colonia greacă Stagira din Marea

* Calificativ nesatisfăcător acordat elevilor şi studenţilor din S.U.A. — *N.T.*

Egee, tatăl său fiind medic de curte al familiei regale macedonene.

La 17 ani a fost trimis la Atena pentru a urma şcoala filozofică a lui Platon şi a rămas aici, remarcîndu-se ca un discipol sîrguincios, pînă la moartea lui Platon, în anul 347 î.e.n. În continuare a urmat o perioadă intensă de călătorii, după care s-a întors la Atena, unde a fondat o şcoală filozofică, cunoscută sub denumirea de Peripatetica, ce îşi avea sediul la Lyceum. O mare parte dintre lucrările lui Aristotel păstrate pînă în zilele noastre sînt „tratatele", care reprezintă, probabil, textele cursurilor din diversele ramuri ale ştiinţei ţinute la Lyceum. Printre ele se găsesc tratatele despre logică sau psihologie, al căror „inventator" a fost, tratate de ştiinţe politice şi despre diferite probleme biologice, îndeosebi privind clasificarea plantelor şi animalelor.

Dar, deşi Aristotel a adus în toate aceste domenii contribuţii excepţionale, care au influenţat gîndirea omenească şi după 2 000 de ani de la moartea sa, poate cea mai importantă realizare a sa în domeniul fizicii a fost inventarea numelui acestei ştiinţe, pe care l-a derivat din cuvîntul grecesc Φυσις, care înseamnă *natură*. Insuficienţa filozofiei aristotelice în studiul fenomenelor fizice se datoreşte faptului că excepţionala minte a lui Aristotel nu era înclinată spre matematizare, ca în cazul altor mulţi filozofi greci din antichitate. Ideile sale referitoare la mişcarea obiectelor terestre şi a corpurilor cereşti au adus, probabil, mai mult rău decît bine progresului ştiinţei. O dată cu reapariţia gîndirii ştiinţifice, în perioada Renaşterii, savanţi, ca Galilei, au trebuit să lupte din greu pentru a scutura jugul filozofiei aristotelice, care în acea vreme era unanim considerată drept „ultimul cuvînt în domeniul cunoaşterii" şi care din această cauză făcea ca aprofundarea naturii lucrurilor şi fenomenelor să devină nenecesară.

LEGEA LUI ARHIMEDE PENTRU PÎRGHII

Un alt mare reprezentant al Greciei antice, care a trăit la aproape un secol după Aristotel, a fost Arhimede din Siracuza, capitala unei colonii greceşti din Sicilia, (fig. I-2) părintele ştiinţei mecanicii. Fiind fiul unui astronom, a

FIG. I—2 Arhimede şi coroana.

acumulat de timpuriu cunoştinţe şi îndemînare matematică, iar în cursul vieţii sale a adus numeroase contribuţii foarte importante în diverse ramuri ale matematicii.

Realizarea sa cea mai importantă în domeniul matematicii pure o constituie descoperirea relaţiei dintre suprafaţa şi volumul sferei şi a cilindrului ei circumscris; de fapt, conform dorinţei sale, mormîntul i-a fost împodobit

cu o sferă înscrisă într-un cilindru. În lucrarea sa intitulată Ψαμμίτης (*Psammites* sau Numărarea firelor de nisip) el expune metoda de a scrie numerele foarte mari acordînd fiecărei cifre dintr-un şir diferite „ordine" în funcţie de poziţia ei* şi aplică această metodă la scrierea numărului de grăunţe de nisip conţinute într-o sferă de dimensiunile Pămîntului.

În celebra sa carte *Despre echilibrul planelor* (în două volume), Arhimede expune legile pîrghiei şi discută problema găsirii centrului de greutate al oricărui corp dat. Pentru cititorul modern stilul scrierilor lui Arhimede este greoi şi complicat, semănînd, sub multe aspecte, cu stilul cărţilor de geometrie ale lui Euclid. De fapt, pe timpul lui Arhimede, matematica greacă era aproape în întregime limitată la geometrie, deoarece algebra a fost inventată mult mai tîrziu de către arabi. Din această cauză, diferitele demonstraţii din domeniul mecanicii şi al altor ramuri ale fizicii erau efectuate luîndu-se în considerare figuri geometrice şi nu ecuaţii algebrice, cum facem noi astăzi. Ca şi în *Elementele* lui Euclid, pentru care mulţi dintre cititori au năduşit pe vremea cînd erau elevi, Arhimede formulează legile de bază ale „staticii" (adică studiul echilibrului) stabilind „axiome" şi deducînd din ele un număr de „teoreme". Vom reproduce aici doar începutul primului volum**.

1. Greutăţi egale la distanţe egale sînt în echilibru, în timp ce greutăţi egale la distanţe neegale nu sînt în echilibru, ci se înclină spre greutatea situată la distanţa mai mare.

2. Dacă, atunci cînd greutăţile situate la anumite distanţe sînt în echilibru, se adaugă ceva la una din greutăţi, ele nu vor mai fi în echilibru, ci se vor înclina spre greutatea la care s-a efectuat adăugirea.

3. În mod asemănător, dacă se extrage ceva de la una din greutăţi, ele nu vor mai fi în echilibru, ci se vor înclina spre greutatea din care nu s-a extras nimic.

---

* Este metoda pe care o folosim acum, cînd scriem numerele în sistemul zecimal; adică atîtea unităţi, atîtea zeci, sute, mii etc.

** Citatele din Arhimede, Plutarh, Vitruviu, Heron şi Ptolemeu amintite în acest capitol sînt redate cu permisiunea autorilor, din lucrarea Morris R. Cohen şi I. E. Drabkin, *A Source Book in Greek Science*, Cambridge, Mass., Harvard Univ. Press, 1948 (copy by The President and Fellows of Harvard College).

4. Dacă o serie de figuri plane, egale şi asemănătoare coincid prin suprapunere, centrele lor de greutate vor coincide, de asemenea.

5. Dacă figurile sînt asemănătoare, dar neegale, centrele lor de greutate vor fi situate asemănător. Prin puncte situate asemănător (în cazul figurilor asemănătoare) înţeleg acele puncte care au următoarea proprietate: dacă prin ele trasăm drepte care formează unghiuri egale, atunci se vor forma unghiuri egale şi între dreptele corespunzătoare din celelalte figuri.

6. Dacă două greutăţi situate la anumite distanţe sînt în echilibru, alte două greutăţi egale cu ele vor fi, de asemenea, în echilibru, la aceleaşi distanţe (Nu este clar?)

7. Pentru orice figură pentru care perimetrul este concav în aceeaşi direcţie, centrul de greutate se va afla în interiorul figurii.

Aceste axiome sînt urmate de 15 teoreme deduse din ele prin argumente logice directe. Vom reproduce aici doar primele cinci, fără demonstraţiile lor, şi vom expune doar demonstraţia exactă a celei de-a şasea teoreme, care conţine *legea fundamentală a pîrghiei.*

Teoreme:

1. Greutăţi ce se echilibrează la distanţe egale sînt egale...

2. Greutăţile neegale la distanţe egale nu se echilibrează, ci se înclină spre greutatea mai mare...

3. Greutăţile neegale se vor echilibra la distanţe neegale, greutatea mai mare situîndu-se la distanţa mai mică...

4. Dacă două greutăţi egale nu au acelaşi centru de greutate, centrul de greutate comun este la mijlocul liniei ce uneşte centrele lor de greutate...

5. Dacă trei greutăţi egale au centrele de greutate pe o linie dreaptă la distanţe egale, centrul de greutate al sistemului va coincide cu cel al greutăţii din mijloc...

Şi acum ne vom concentra atenţia asupra demonstraţiei celei de-a şasea teoreme, al cărei stil îl vom moderniza pentru a fi mai uşor de înţeles pentru cititor:

6. Două greutăţi se echilibrează la distanţe invers proporţionale cu greutăţile.

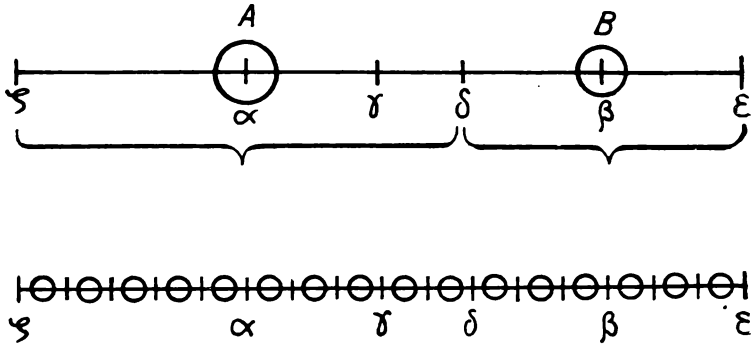


FIG. I—3 Demonstrația legii pîrghiilor a lui Arhimede.

Presupunem în acest scop că greutățile A și B sînt comensurabile* și că punctele α și β reprezintă centrele lor de greutate (fig. I-3 *a*):

Trasăm prin $\overline{\alpha\beta}$ o linie dreaptă pe care o împărțim în două segmente, prin punctul γ, astfel ca

$$A : B = \overline{\beta\gamma} : \overline{\gamma\alpha}.$$

Trebuie să demonstrăm că γ este centrul de greutate al celor două greutăți considerate împreună. Deoarece A și B sînt comensurabile, la fel vor fi și $\overline{\beta\gamma}$ și $\overline{\gamma\alpha}$. Fie $\overline{\mu\nu}$ unitate de măsură comună pentru $\overline{\beta\gamma}$ și $\overline{\gamma\alpha}$. Considerăm segmentele $\overline{\beta\delta}$ și $\overline{\beta\varepsilon}$ egale fiecare cu $\overline{\alpha\gamma}$, și $\overline{\alpha\zeta}$ egal cu $\overline{\gamma\beta}$. În acest caz $\overline{\alpha\delta} = \overline{\gamma\beta}$, deoarece $\overline{\beta\delta} = \overline{\gamma\alpha}$. Deci α se află la mijlocul lui $\overline{\zeta\delta}$, iar β se află la mijlocul lui $\overline{\delta\varepsilon}$ sau cu alte cuvinte $\overline{\zeta\delta}$ și $\overline{\delta\varepsilon}$ trebuie să conțină fiecare pe $\overline{\mu\nu}$ de un număr par de ori.

Vom considera acum o greutate Ω care se cuprinde de atîtea ori în A de cîte ori se cuprinde $\overline{\mu\nu}$ în $\overline{\zeta\delta}$; prin urmare

$$A : \Omega = \overline{\zeta\delta} : \overline{\mu\nu}.$$

* Adică raportul celor două greutăți poate fi reprezentat printr-o fracție rațională ca $\frac{5}{3}$, $\frac{117}{32}$ etc.

Dar $$B : A = \overline{\gamma\alpha} : \overline{\beta\gamma} = \overline{\delta\varepsilon} : \overline{\zeta\delta}.$$

Deci, *ex equalis*, $B : \Omega = \overline{\delta\varepsilon} : \overline{\mu\nu}$

şi deci Ω se cuprinde în B de atîtea ori de cîte ori se cuprinde $\overline{\mu\nu}$ în $\overline{\delta\varepsilon}$. Deci Ω este o măsură comună a lui A şi B.

Împărţim $\overline{\zeta\delta}$ şi $\overline{\delta\varepsilon}$ în părţi egale cu $\overline{\mu\nu}$, iar A şi B în părţi egale cu Ω. Părţile lui A vor fi deci în număr egal cu cele ale lui $\overline{\zeta\delta}$, iar părţile lui B în număr egal cu cele ale lui $\overline{\delta\varepsilon}$. Plasăm cîte una din părţile lui A în punctul central al fiecărei părţi $\overline{\mu\nu}$ din $\overline{\zeta\delta}$, şi cîte una din părţile lui B în punctul central al fiecărei părţi $\overline{\mu\nu}$ din $\overline{\delta\varepsilon}$ (fig. I-4 *b*).

În acest caz, centrul de greutate al părţilor lui A plasate la distanţe egale pe $\overline{\zeta\delta}$ va fi α, în centrul lui $\zeta\gamma$, iar centrul de greutate al părţilor lui B plasate la distanţe egale pe $\overline{\delta\varepsilon}$ va fi β, în centrul lui $\overline{\delta\varepsilon}$.

Dar sistemul format din părţile Ω ale lui A şi B considerate împreună reprezintă un sistem de greutăţi egale plasate la distanţe egale pe $\overline{\zeta\varepsilon}$. Şi deoarece $\overline{\zeta\alpha} = \overline{\gamma\beta}$ şi $\overline{\alpha\gamma} = \overline{\beta\varepsilon}$, $\overline{\zeta\gamma} = \overline{\gamma\varepsilon}$ şi deci γ este mijlocul lui $\overline{\zeta\varepsilon}$. Deci γ este centrul de greutate al sistemului desfăşurat pe linia $\overline{\zeta\varepsilon}$ sau, cu alte cuvinte, dacă A acţionează în α şi B în β, ele se echilibrează în γ.

Această teoremă este urmată de teorema a şaptea în care se demonstrează aceeaşi afirmaţie în cazul în care greutăţile A şi B sînt incomensurabile*.

Descoperirea principiului pîrghiei şi diversele lui aplicaţii au produs senzaţie în lumea veche, după cum ne putem da seama din descrierea dată de Plutarh în cartea sa *Viaţa lui Marcellus*, generalul roman care a cucerit Siracuza în timpul celui de al II-lea război punic; el este considerat, într-o oarecare măsură, responsabil de uciderea lui Arhimede, care prin construirea unor ingenioase maşini de răz-

* Adică raportul celor două greutăţi este reprezentat de un număr iraţional, de exemplu $\sqrt{2}$.

FIG. I—4 Dacă braţul sting al pirghiei este de trei ori mai lung decît braţul drept, deplasarea capătului din stînga ($\overline{\alpha\alpha'}$) este de trei ori mai mare decît deplasarea capătului din dreapta ($\overline{\beta\beta'}$).

boi a contribuit în mare măsură la apărarea cetăţii. Plutarh scrie:

„Arhimede, care era rudă şi prieten al regelui Hieron al Siracuzei, i-a scris acestuia că cu orice forţă dată este posibil să se ridice orice greutate şi fiind încurajat, aşa după cum s-a relatat, de vigoarea demonstraţiei sale, el a declarat că dacă ar exista o altă lume şi ar putea ajunge la ea, ar reuşi să o mişte. Hieron a fost uimit şi l-a rugat să-şi pună afirmaţiile în aplicare şi să-i arate o greutate mare mişcată cu o forţă mică. Atunci Arhimede s-a îndreptat spre o corabie de comerţ, cu trei catarge, din flota regală, care fusese trasă pe ţărm, cu mare greutate, de un mare număr de oameni şi după ce a umplut-o cu mulţi pasageri şi cu încărcătura obişnuită, s-a aşezat la o anumită distanţă de ea şi fără un efort prea mare, ci doar mişcind cu mîna un sistem complicat de scripeţi, a tras spre el corabia, lin, ca şi cum ar fi alunecat pe valuri.

Principiul pîrghiei joacă un rol foarte important în toate domeniile vieţii, de la fermierul care foloseşte o rangă, pentru a deplasa un bolovan greu, la instalaţiile complicate folosite în tehnica modernă. Legea pîrghiei formulată de Arhimede ne permite să introducem noţiunea mecanică, foarte importantă, de *lucru* efectuat de acţiunea unei forţe. Presupunem că dorim să ridicăm o piatră grea (fig. I-4) prin folosirea unei răngi cu un raport al braţelor $\overline{\alpha\gamma} : \overline{\gamma\beta} = 3 : 1$. Vom putea efectua acest lucru apăsînd pe mînerul răngii cu o forţă de trei ori mai mică decît forţa de gravitaţie ce acţionează asupra pietrei. Din figură se vede clar că pentru a ridica piatra cu 1 inch* de la pămînt ($\overline{\beta\beta'}$) va trebui să apăsăm mînerul răngii cu 3 inches în jos ($\overline{\alpha\alpha'}$).

* Unitate engleză pentru lungimi, egală cu 2,54 cm. — *N.R.*

De aici tragem concluzia că produsul forţei cu care apăsăm mînerul răngii, prin deplasarea lui în jos, este egal cu greutatea pietrei înmulţită cu deplasarea ei în sus.

Produsul dintre forţă şi deplasarea punctului ei de aplicare este cunoscut sub denumirea de lucru efectuat de forţă. Astfel, conform legii lui Arhimede pentru pîrghii, *lucrul efectuat de mînă prin apăsarea răngii la capătul porţiunii lungi este egal cu lucrul efectuat de capătul porţiunii scurte prin ridicarea pietrei.*

Această afirmaţie poate fi generalizată la orice fel de lucru mecanic; astfel, de exemplu, lucrul efectuat de hamali pentru a urca un pian mare la etajul trei este egal cu lucrul efectuat pentru a ridica trei piane mari doar un etaj*.

Principiul lucrului egal efectuat la cele două capete ale pîrghiei poate fi aplicat şi la un alt dispozitiv similar, *scripetele*, folosit de Arhimede pentru a urni din loc o corabie grea, spre marea surpriză a regelui Hieron. Dacă, pentru a ridica o greutate mare, tragem de o frînghie — la capătul căreia aceasta este legată — care trece printr-o roată cu şanţ — scripetele — ataşată de o grindă de lemn (fig. I-5*a*) greutatea va fi ridicată la înălţimea *L* egală cu lungimea *d* a frînghiei, iar forţa *FL* aplicată frînghiei (forţa cu care aceasta este trasă) va fi egală cu greutatea.

Dacă însă aranjăm doi scripeţi, ca în fig. I-5 *b*, va trebui să tragem o lungime dublă de frînghie, în timp ce forţa de tragere aplicată frînghiei va fi egală numai cu jumătate din greutatea de ridicat.

În aranjamentul din fig. I-5 *c*, forţa necesară pentru a ridica greutatea va fi de şase ori mai mică, în timp ce greutatea se va ridica doar la o înălţime egală cu o şesime din lungimea frînghiei trase.

---

* Hamalii pot contesta această afirmaţie, argumentînd că în cazul a trei piane mari apar mai multe încurcături cu aranjarea curelelor, dar aici noi ne-am referit doar la lucrul legat direct de ridicarea reală a unui obiect greu.

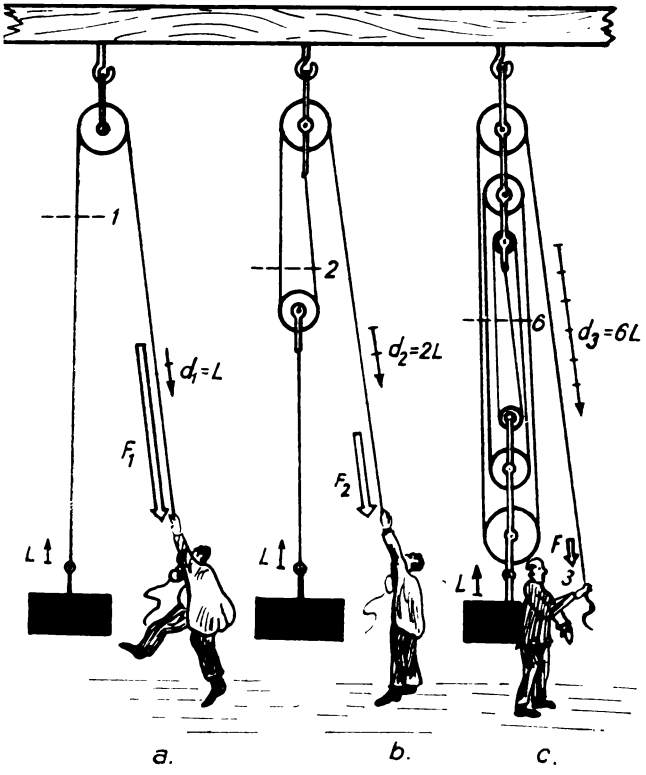


FIG. I—5 Principiul scripetelui.

LEGEA LUI ARHIMEDE PENTRU CORPURILE PLUTITOARE

Se pare că cea mai cunoscută descoperire efectuată de Arhimede este legea sa referitoare la pierderea unei părţi din greutatea corpurilor introduse într-un lichid. Întîmplarea care a condus la această descoperire este povestită de Vitruviu* astfel:

În cazul lui Arhimede, deşi a făcut numeroase descoperiri remarcabile în diverse domenii, totuşi dintre toate următoarea pe care o voi descrie pare a fi rezultatul unei ingeniozităţi nelimitate. După

* Vitruvius, *Arhitectura*.

ce a cîştigat puterea regală la Siracuza, Hieron a hotărît ca, în cinstea victoriei sale, să pună într-un templu o coroană de aur dedicată zeilor nemuritori.

Pentru realizarea ei a apelat la un meşter aurar, stabilind un anumit preţ şi punîndu-i la dispoziţie o anumită cantitate de aur. La timpul stabilit, acesta a prezentat, spre satisfacţia regelui, o piesă lucrată de mînă perfect finisată, a cărei greutate corespundea exact cu cea a aurului pus la dispoziţie. După cîtva timp însă i s-a adus acuzaţia că la prelucrarea coroanei fusese sustrasă o anumită cantitate de aur şi înlocuită cu argint.

Considerînd o ofensă faptul că a fost înşelat, dar neştiind încă cum să dovedească hoţia, Hieron i-a cerut lui Arhimede să se ocupe de această problemă. Pe cînd îl frămînta rezolvarea ei, s-a întîmplat să meargă la baie şi, aflîndu-se în cadă, a observat că cu cît intra mai adînc în apă, cu atît apa se revărsa mai mult afară din cadă. Deoarece această întîmplare i-a indicat calea spre explicarea problemei ce-l frămînta, fără a mai zăbovi şi nebun de bucurie a sărit din cadă şi luînd-o la fugă spre casă, în pielea goală, a început să strige din răsputeri în limba greacă: „ευρικα", „ευρικα", adică „am găsit!", „am găsit!"

Considerînd această întîmplare drept începutul descoperirii sale, se spune că el a luat două cantităţi, de aur şi, respectiv, de argint, de aceeaşi greutate cu coroana. A umplut apoi un vas mare cu apă pînă la marginea superioară şi a introdus argintul în el. Cantitatea de apă revărsată a fost egală cu volumul argintului introdus în vas. Scoţîndu-l apoi din apă a umplut din nou vasul pînă la marginea superioară cu ajutorul unei măsuri de 1 pint*. În acest fel el a stabilit greutatea de argint corespunzătoare unei cantităţi date de apă.

După această experienţă el a introdus, în mod asemănător, aurul în vasul plin şi apoi, scoţîndu-l şi măsurînd ca mai înainte, a observat că nu se mai revărsa tot atîta apă, ci mai puţină: mai precis, cu atît mai puţină cu cît un volum de aur este mai mic în comparaţie cu un volum de argint de aceeaşi greutate. În sfîrşit, umplînd din nou vasul cu apă şi introducînd chiar coroana în aceeaşi cantitate de apă, el a observat că se revarsă mai multă apă în cazul coroanei decît în cazul unei cantităţi de aur de greutate egală. Deci, raţionînd pe baza faptului că în cazul coroanei s-a revărsat mai multă apă decît în cazul aurului, el a descoperit că aurul coroanei era amestecat cu argint, scoţînd astfel la iveală hoţia meşterului aurar.

---

* Măsură de capacitate pentru lichide, egală cu 0,56 l. — *N.R.*

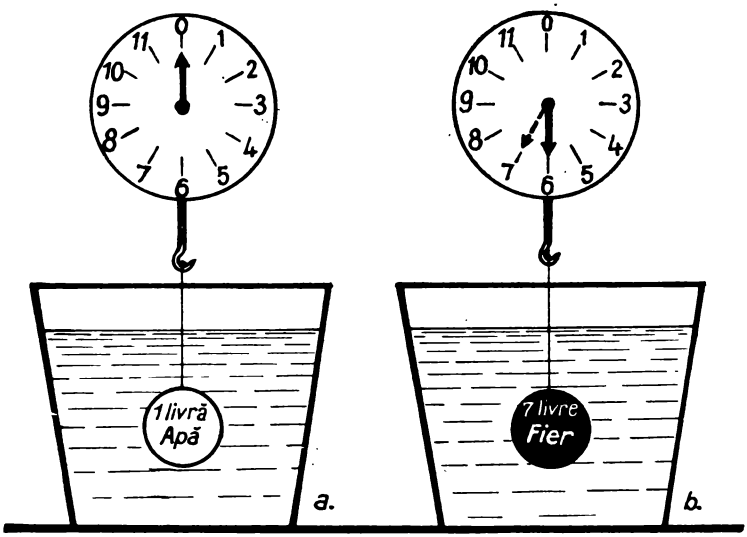


FIG. I—6 Demonstrația legii lui Arhimede pentru corpurile plutitoare: *a* — 1 livră de apă; *b* — 7 livre de fier.

Demonstrația legii lui Arhimede, dată de el însuși în cartea sa *Asupra corpurilor plutitoare*, este mai complicată, deși foarte corectă, și de aceea o vom reproduce mai jos într-un limbaj modern, luînd în considerare ce se întîmplă cînd introducem o bilă solidă, metalică într-un vas cu apă (fig. I-6). Să presupunem că, inițial, în locul unei sfere de fier luăm o sferă din material plastic subțire, de același diametru, umplută cu apă (fig. I-6*a*). Deoarece greutatea plasticului poate fi neglijată, situația ar fi aceeași ca în cazul în care apa din sfera de plastic ar face parte din apa din vas și deci acul unei balanțe de care ar atîrna sfera ar indica greutatea zero.

Înlocuim apoi apa din sfera de plastic cu bila metalică (fig. I-6*b*) de fier, care este de șapte ori mai grea decît un volum egal de apă. Deoarece cantitatea de apă din sfera inițială era echilibrată de restul apei din vas, astfel că acul indica zero, rezultă că înlocuirea apei cu fier va adăuga doar $7 - 1 = 6$ greutăți, ceea ce acul va și indica într-adevăr.

Putem conchide deci că sfera de fier care în aer cîntăreşte (de exemplu) 7 livre* pierde 1 livră din greutatea sa cînd este introdusă în apă, adică o greutate egală cu greutatea volumului de apă dezlocuit. Aceasta este legea lui Arhimede care enunţă că *orice corp solid scufundat într-un lichid pierde din greutatea sa o parte egală cu greutatea lichidului dezlocuit.*

ARHIMEDE, CONSULTANT MILITAR

Mare matematician şi fondator al ştiinţei mecanice, Arhimede a fost, în acelaşi timp, ca să ne folosim de un termen modern, şi „consultant în industrie şi în armată". Cea mai cunoscută dintre invenţiile sale tehnice este aşa-numitul „şurub al lui Arhimede" — arătat în fig. I-7 — folosit la ridicarea apei. Acest dispozitiv, a cărui funcţionare vor-

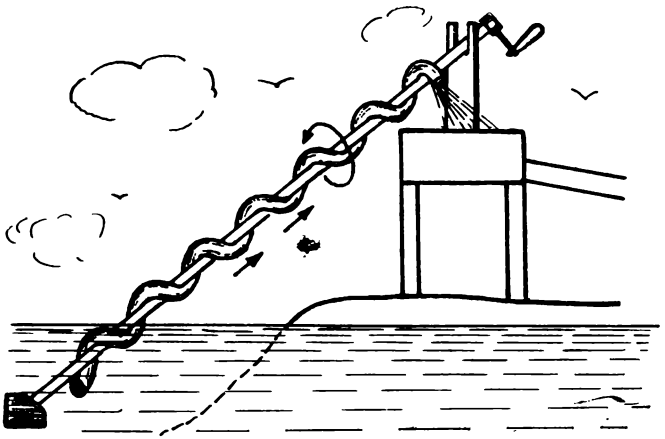


FIG. I—7 Şurubul lui Arhimede pompînd apă prin simpla lui rotire. Pentru a înţelege cum funcţionează, încercaţi să vă gîndiţi la ceea ce se întîmplă în partea de jos a tubului cînd acesta este rotit şi veţi constata că apa se ridică, dar nu şi tubul propriu-zis, ci doar poziţiile lui „minime" de menţinere a apei. În acest scop ar fi util de construit o spirală dintr-o sîrmă şi de observat ce se întîmplă cînd este rotită în jurul axei sale.

* Unitate de măsură pentru greutăţi, egală cu 0,453 kg. — *N.R.*

beşte de la sine, a fost mult folosit, după cît se pare, la irigaţii şi la extragerea apei subterane din mine.

Participarea lui Arhimede la lucrările de război a început, se pare, cu demonstraţia sa privind funcţionarea scripetelui, făcută în faţa regelui Hieron. Iată cum scrie Plutarh în emoţionanta sa descriere din *Viaţa lui Marcellus*:

Hieron, uimit de această demonstraţie şi înţelegînd puterea meşteşugului său, l-a convins pe Arhimede să-i pregătească maşini de război ofensive şi defensive pe care să le folosească în orice fel de ostilităţi. Nu a avut prilejul să le pună în aplicare fiindcă cea mai mare parte a vieţii sale şi-a petrecut-o fără războaie, în sărbători de pace; dar, la timpul lor, ele au fost de mare folos locuitorilor din Siracuza şi, laolaltă, şi maestrului care le crease.

Pentru că atunci cînd romanii i-au atacat de pe mare şi de pe uscat, siracuzanii au amuţit de spaimă; ei socoteau că nimic nu s-ar putea împotrivi unui asemenea atac furibund şi cu forţe atît de mari. Dar Arhimede a pus în funcţiune maşinile sale şi a îndreptat spre forţele de asalt duşmane tot felul de proiectile şi de pietre enorme care zburau cu o viteză şi cu un zgomot de necrezut; nimic nu putea rezista greutăţii lor, iar loviturile puternice răsturnau tot ce le stătea în cale, producînd dezordine în liniile atacanţilor.

Cîrlige imense erau aruncate, pe neaşteptate, de pe ziduri asupra corăbiilor, pe care le scufundau, izbindu-le de sus cu greutăţi; pe altele le apucau de provă cu cîngi mari de fier sau cu ciocuri de fier, asemănătoare cu ale cocorilor, le ridicau în aer şi, sprijinindu-le de pupă, le scufundau în adîncuri, sau le învîrteau într-una trăgîndu-le, cu ajutorul maşinilor, pe ţărm, unde le izbeau de prăpăstiile şi stîncile de sub ziduri, provocînd distrugeri în rîndurile luptătorilor, care piereau striviţi. De multe ori, cîte o corabie era ridicată de la suprafaţa mării şi, spînzurată în aer, se învîrtea într-o parte şi-ntr-alta — oferind un spectacol înspăimîntător — pînă cînd oamenii de pe ea se aruncau jos, fugind în toate direcţiile, iar corabia cădea goală peste ziduri sau aluneca pe stînci atunci cînd cîrligele îi dădeau drumul.

În ceea ce priveşte maşina pe care a adus-o Marcellus pe puntea corăbiilor sale şi care se numea *sambucca*, datorită unei oarecare asemănări cu instrumentul muzical denumit astfel, încă de departe, pe cînd se apropia de ziduri, a fost aruncată o piatră de zece talanţi greutate asupra ei, apoi o a doua şi o a treia; unele dintre acestea, căzînd pe ea cu mare zgomot şi provocînd valuri, au făcut ţăndări postamentul maşinii, i-au zdruncinat construcţia şi au desfăcut-o de

pe platformă, încît Marcellus, nemaiştiind ce să facă, a ordonat retragerea cît mai rapidă a corăbiilor sale şi a trupelor de uscat.

Apoi, într-un consiliu de război, el a hotărît să înainteze, dacă poate, pînă sub ziduri, în timpul nopţii, gîndind că maşinile lui Arhimede, bătînd la distanţă, vor arunca proiectilele pe deasupra lor şi deci vor fi inutilizabile de aproape, deoarece nu vor avea loc să tragă.

Arhimede totuşi — după cît se pare — pregătise de mult, pentru astfel de situaţii, dispozitive cu bătaie reglabilă pentru orice distanţă şi arme cu bătaie scurtă, iar în multe deschizături mici şi dese făcute în zid aşezase maşini denumite „scorpioni" care puteau lovi în obiectele foarte apropiate, fără a fi văzute de duşmani.

Deci cînd romanii, socotind că sînt neobservaţi, au ajuns sub ziduri, au fost iarăşi întîmpinaţi de multe proiectile; pietre imense se prăvăleau peste ei aproape vertical, iar zidul arunca din toate părţile săgeţi; atunci ei s-au retras. Dar şi aici, cînd erau la o oarecare distanţă, tot felul de proiectile erau aruncate asupra lor; multe dintre corăbiile lor, de asemenea, au fost distruse fără ca ei să poată răspunde în vreun fel duşmanului. Arhimede îşi aşezase maşinile la adăpostul zidurilor, iar romanilor li se părea că luptă cu zeii, căci nenumărate răutăţi se revărsau asupra lor fără să vadă de unde vin.

Totuşi Marcellus a scăpat şi batjocorindu-şi meşterii şi constructorii săi a spus: „Să oprim lupta împotriva acestui Briareus* geometru, care foloseşte corăbiile noastre ca pe nişte căni pentru a scoate apa din mare, care a distrus şi ne-a făcut de ruşine sambucca noastră şi care, cu numeroasele proiectile pe care le aruncă asupra noastră în acelaşi timp, întrece monştrii cu o sută de mîini (hecatonchirii) ai mitologiei". Căci, într-adevăr, restul siracuzanilor erau doar unelte ale maşinilor lui Arhimede, în timp ce el era un singur suflet care punea totul în mişcare şi conducea; toate celelalte arme zăceau nefolosite şi doar ale lui erau folosite de întreaga cetate, atît la ofensivă, cît şi la defensivă.

În cele din urmă, romanii erau atît de înspăimîntaţi încît, ori de cîte ori zăreau un capăt de frînghie sau vre-un lemn apărînd pe zid strigau: „Arhimede pune iar în mişcare vre-o maşină împotriva noastră" şi întorceau spatele luînd-o la fugă.

Văzînd aceasta, Marcellus a oprit toate luptele şi asalturile, totul depinzînd acum de un asediu îndelungat.

---

* Gigant cu o sută de mîini care îi apăra pe zei împotriva titanilor.

Cînd, după doi ani de asediu, Siracuza a fost, în sfîrşit, cucerită în anul 212 î.e.n. de legiunile romane, un detaşament de soldaţi romani a năvălit în casa lui Arhimede, care se afla în curte, preocupat fiind cu desenarea unor figuri geometrice complicate pe nisip. *„Noli tangere circulos meos"!* (Nu atingeţi schiţele mele) a exclamat Arhimede într-o latină aproximativă, cînd unul dintre soldaţi a călcat peste ele. Drept răspuns soldatul a înfipt spada în trupul bătrînului filozof.

Pe vremea cînd Cicero era chestor, a vizitat Sicilia, în anul 137 î.e.n. şi a descoperit mormîntul lui Arhimede, lîngă poarta Agrigento, năpădit de spini şi mărăcini.

„Astfel, scrie Cicero, cel mai faimos şi odinioară cel mai înţelept dintre oraşele Greciei nu ar mai fi cunoscut mormîntul cetăţeanului lui cel mai genial, dacă acest mormînt nu ar fi fost descoperit de un om din Arpinum".

ŞCOALA DIN ALEXANDRIA

O dată cu declinul puterii economice şi politice a Atenei centrul culturii greceşti s-a deplasat la Alexandria. Aceasta fusese fundată în 332 î.e.n. pe ţărmul egiptean al Mediteranei; de către Alexandru cel Mare, în scopul de a deveni portul cheie pentru comerţul dintre Europa şi Orient. În acea vreme Alexandria devenise un frumos oraş cu „...4 000 de palate, 4 000 de băi, 12 000 de grădini, 40 000 de evrei care plăteau tribut şi 400 de teatre şi alte locuri de distracţie". Ea se lăuda, de asemenea, cu o importantă universitate şi cu o mare bibliotecă, care, din nefericire, a fost nimicită mai tîrziu de foc în urma incendierii oraşului din ordinul lui Iuliu Cezar, care urmărea distrugerea flotei egiptene aflate în portul Alexandria. Aici a scris Euclid lucrarea sa *Elemente de geometrie*, şi tot aici şi-a completat Arhimede cunoştinţele sale ştiinţifice ca tînăr venit din Siracuza.

În domeniul astronomiei, Alexandria a fost reprezentată de către Hiparh, care a trăit cam prin mijlocul secolului al II-lea î.e.n.. Hiparh a dus precizia observării poziţiei stelelor la cea mai ridicată valoare posibilă în acea vreme. El a realizat un catalog ce cuprindea 1 080 de stele, care este utilizat şi astăzi de către astronomi ca

referință pentru datele vechi privitoare la poziția stelelor. Tot el a descoperit fenomenul precesiei echinocțiilor, care reprezintă punctele de pe sfera cerească la care Soarele intersectează ecuatorul ceresc în mișcarea sa anuală printre stele. Fenomenul se datorează faptului că axa de rotație a Pămîntului, fiind înclinată față de planul orbitei, descrie în spațiu un con în jurul unei perpendiculare pe orbită, cu o perioadă de 26 000 de ani. Cauza acestei mișcări a fost găsită cam cu 1 000 de ani mai tîrziu de către Sir Isaac Newton.

În ceea ce privește fizica, școala din Alexandria a fost reprezentată de către Heron (sau Hero), care era mai mult inginer inventator decît fizician. Cartea lui, intitulată *Mecanica*, conține multe concluzii adevărate, dar și multe greșeli matematice.

În ciuda defectelor sale în tratarea matematică a problemelor de bază, cartea lui Heron asupra mecanicii conține o descriere a unui mare număr de invenții utile, ca: scripeți compuși, diferite tipuri de mecanisme de antrenare și mecanisme cu roți dințate etc. În cartea sa *Pneumatica* el descrie principiul sifonului (fig. I-8 *a*) și o mașină cu jeturi de abur (fig. I-8 *b*) care, fiind cu totul asemănătoare unei stropitori cu jeturi de apă, poate fi considerată totuși drept precursoarea motoarelor moderne cu propulsie.

Heron a mai scris și o carte intitulată *Catoptrica*, conținînd teoria oglinzilor și aplicațiile practice ale acestora. Iată ce putem citi în această carte:

Catoptrica este în mod clar o știință prețioasă, dar în același timp ea oferă imagini care uimesc pe observator. Cu ajutorul acestei științe se pot construi oglinzi care arată partea dreaptă în dreapta și, la fel, partea stîngă în stînga, în timp ce oglinzile obișnuite arată invers părțile.

Lucrul acesta se realizează cu două oglinzi fără ramă, care fac un unghi drept între ele (fig. I-9).

Este posibil, cu ajutorul oglinzilor, să ne vedem spatele (la fel cum vă arată frizerul ceafa ca să vă convingeți că v-a tuns bine) sau întorși, de parcă am sta în cap, cu trei ochi și două nasuri, ori cu figura deformată ca și cînd am avea o imensă suferință (în pavilioanele

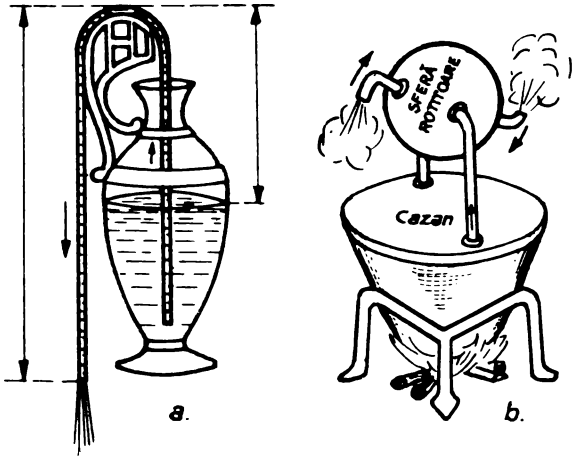


FIG. I—8 Cele două mecanisme inventate de Heron: *a* — sifonul care permite apei dintr-un vas să se scurgă printr-un tub curbat. Motivul pentru care apa curge printr-un tub este acela că greutatea apei din partea stîngă a tubului este mai mare decît greutatea apei din partea dreaptă a tubului; aceasta se extinde, practic, numai de la suprafaţa apei, din vas pînă la partea cea mai înaltă a tubului; *b* — maşina cu jeturi de abur a lui Heron, în care rotirea sferei este cauzată de cele două jeturi de abur ce ies prin găurile tuburilor.

cu oglinzi din parcurile de distracţii sau de la bîlci). Şi cine nu va considera că este foarte util să putem observa, dacă este necesar, din propria noastră casă, cîţi oameni se află pe stradă şi ce fac ei?

Punctul de vedere al lui Heron asupra naturii luminii rezultă în mod clar şi din următorul citat:

Practic, toţi cei care au scris despre dioptrică au avut îndoială asupra cauzelor care ar putea face ca razele care pleacă din ochii noştri să fie reflectate de oglinzi şi de ce reflexiile sînt la unghiuri egale. În ceea ce priveşte ideea că vederea noastră urmează linii drepte care pleacă din organul nostru de vedere, aceasta ar putea fi întărită în cele ce urmează. Orice se mişcă cu o viteză constantă se mişcă în linie dreaptă. Ca exemplu, putem lua săgeţile trase cu arcul, pentru că datorită forţei de împingere, obiectul în mişcare tinde să se mişte pe drumul cel mai scurt posibil, neavînd timp să se mişte mai încet, ceea ce ar corespunde unei traiectorii mai lungi. Forţa de îm-

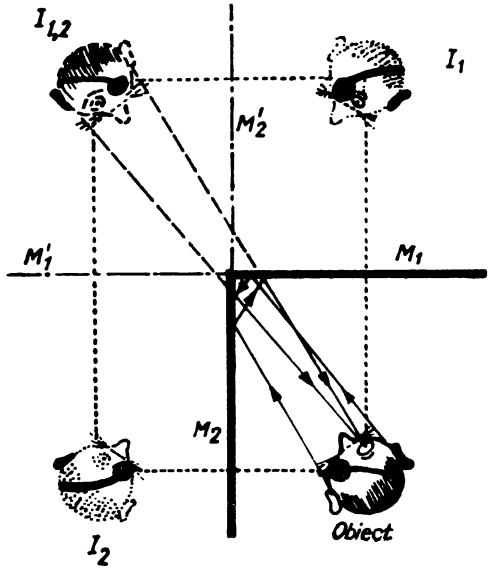


FIG.I —9 Privind într-o oglindă compusă, formată de două oglinzi plane, M_1 şi M_2, care fac între ele un unghi drept, vom vedea propria noastră imagine dublu reflectată: mai intii, în oglinda M_1 şi apoi în continuarea imaginară M'_2 a oglinzii M_2, sau mai intii în oglinda M_2 şi apoi în continuarea imaginară M'_1 a oglinzii M_1. Din cauza dublei reflexii partea dreaptă rămîne partea dreaptă, iar stînga rămîne stînga.

Razele de lumină reale sînt reprezentate prin linie continuă.

pingere nu permite o astfel de întîrziere. Şi astfel, datorită vitezei sale, obiectul tinde să se mişte pe drumul cel mai scurt. Însă dintre toate liniile care pot fi duse între două puncte, cea mai scurtă este linia dreaptă. Faptul că razele care pleacă din ochii noştri se mişcă cu o viteză infinită poate fi dedus din consideraţiile ce urmează. Cînd, după ce am avut ochii închişi, îi deschidem şi privim cerul, nu este nevoie de nici un interval de timp pentru ca razele vizuale să ajungă pînă la cer. Într-adevăr, noi vedem stelele de îndată ce privim în sus, deşi distanţa pînă la ele poate fi, ca să spunem aşa, infinită. Oricît de mare ar fi distanţa, rezultatul este acelaşi, astfel încît este clar că razele de lumină sînt emise cu o viteză infinită. Din această cauză ele nu pot fi întrerupte, sau curbate, sau rupte, ci se vor mişca pe drumul cel mai scurt — linia dreaptă.

Acest pasaj relevă faptul, oarecum amuzant, că Heron şi, aparent, toţi contemporanii săi credeau că vederea s-ar datora anumitor raze emise din ochi şi reflectate înapoi de către obiecte, bazată fiind pe acelaşi principiu ca şi radarul de azi.

Un alt mare alexandrin a fost astronomul Claudius Ptolemeu (a nu se confunda cu membrii dinastiei Ptolemeilor care au domnit în Egipt cu mulţi ani înainte de era creştină) care a trăit şi a lucrat în prima jumătate a secolului al II-lea e.n. Observaţiile lui Ptolemeu asupra stelelor şi planetelor, strînse în cartea lui intitulată *Almageste*, reprezintă o considerabilă acumulare de date obţinute de Hiparh cu două secole şi jumătate mai înainte. Contribuţiile sale mai importante din fizică se găsesc în cartea sa *Optica*, ajunsă pînă la noi în traducere latină după versiunea arabă — ce s-a pierdut — a manuscrisului grecesc original. În această carte Ptolemeu discută, printre altele, importantul subiect al refracţiei luminii la trecerea dintr-un mediu într-altul. El scrie:

Razele vizuale pot fi deformate în două feluri: prin *reflexie*, adică ricoşînd înapoi de pe obiectele numite oglinzi, care nu permit pătrunderea razelor şi prin curbare, (adică *refracţie*) în cazul mediilor care permit pătrunderea razelor şi poartă o denumirea special („substanţe transparente") pentru motivul că razele pot să treacă prin ele.

El a ilustrat fenomenul refracţiei printr-o experienţă simplă cu o monedă plasată pe fundul unui vas umplut cu apă şi denumit „baptisteriu"* (fig. I-10 *a*).

Presupunînd că ochiul are o astfel de poziţie, încît raza vizuală ce emană din el, care trece exact pe la marginea baptisteriului, să ajungă într-un punct situat deasupra monezii. Apoi, păstrînd moneda în aceeaşi poziţie, dacă se toarnă apă cu grijă în baptisteriu, pînă cînd raza care trece pe la marginea vasului este curbată în jos şi cade pe monedă. Rezultatul este că obiectul care mai înainte nu era invizibil, acum se vede în continuarea liniei drepte care pleacă din ochiul privitorului pînă în punctul de deasupra monedei. Acum, observatorul nu va presupune că raza de lumină a fost curbată către obiect,

* Probabil utilizat în biserică pentru botezarea copiilor.

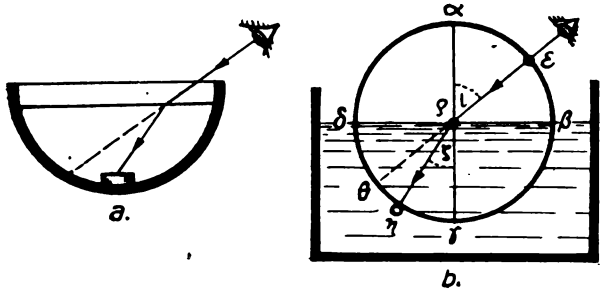


FIG. I—10 Experienţa lui Ptolemeu cu refracţia luminii: *a* — pe fundul vasului plin cu apă moneda pare a fi mai sus decît este de fapt; *b* — aparatul pentru studiul refracţiei luminii. Ptolemeu a determinat relaţia dintre unghiul δρη din apă şi unghiul αρε în aer şi a tabelat dependenţa lor.

ci că însuşi obiectul pluteşte prin lichid şi s-a ridicat către rază. De aceea, obiectul va apărea pe perpendiculara dusă de la el la suprafaţa apei.

Mai departe, în text, Ptolemeu descrie o experienţă efectuată pentru a studia în detaliu legile refracţiei luminii.

Mărimea refracţiei care are loc în apă, şi care poate fi observată, se determină printr-o experienţă asemănătoare cu cea pe care am realizat-o cînd am studiat legile oglinzilor (ale reflexiei — *N.T.*) cu ajutorul unui disc de cupru. Pe acest disc se trasează cercul αβγδ (fig. I—10 *b*) cu centrul ρ avînd două diametre αργ şi δρβ care se intersectează în unghiuri drepte. Se împarte fiecare cadran în nouăzeci de părţi egale şi centrul se marchează cu o mică pată colorată. Apoi se aşază discul vertical într-un mic bazin cu apă şi se toarnă apă curată în bazin, în cantitate suficientă, dar atîta cît să nu împiedice observarea. Suprafaţa discului este perpendiculară pe suprafaţa apei, fiind intersectată de aceasta, după unul din diametri, în două jumătăţi de cerc, jumătatea βγδ aflîndu-se în întregime sub apă, iar diametrul αργ fiind perpendicular pe suprafaţa apei.

Să luăm acum arcul măsurat, să zicem αε, din punctul α, într-unul din cei doi cvadranţi ai discului care se află deasupra nivelului apei. Să facem un semn colorat în dreptul lui ε, să privim cu un ochi în aşa fel, ca semnele din ε şi ρ să fie pe o linie dreaptă care pleacă din ochi. În acelaşi timp, să mişcăm un ac indicator pe arcul γδ de

pe cadranul opus, care se află sub apă, pînă cînd extremitatea acului apare în acel punct al arcului care este în prelungirea liniei drepte ce unește pe ε cu ρ. Dacă măsurăm acum arcul cuprins între punctul γ și punctul η, care apare în continuarea liniei, cum am mai spus, vom constata că acest arc, γη, este întotdeauna mai mic decît arcul αε.

Dacă însă vom privi de-a lungul perpendicularei αρ, raza vizuală nu va fi curbată și va ajunge în punctul γ, care este chiar opusul lui α, fiind pe aceeași linie cu αρ. În toate celelalte poziții, atunci cînd arcul αε crește, va crește și arcul γη însă mărimea curbării razei va fi din ce în ce mai mare.

	Curbarea	
Cînd αε este 10°, γη va fi	8°	2°
20°	15 1/2°	4 1/2°
30°	22 1/2°	7 1/2°
40°	29°	11°
50°	35°	15°
60°	40 1/2°	19 1/2°
70°	45 1/2°	24 1/2°
80°	50°	30°

Aceasta este metoda prin care am descoperit mărimea refracției în cazul apei.

Ptolemeu a studiat, de asemenea, printr-o metodă similară, refracția luminii la limita dintre aer și sticlă, și a găsit că în acest caz curbarea razei este și mai puternică. El nu a încercat totuși (sau cel puțin nu a reușit) să exprime rezultatele observațiilor sale cu ajutorul unei formule matematice, și formularea matematică a legii refracției luminii nu a fost stabilită pînă în secolul al XVII-lea. El o putea găsi, desigur, cu ușurință, deoarece aparatul matematic necesar formulării acestei legi era legat numai de relații între arcuri și coarde, discutate încă cu un secol și jumătate mai înainte de către Plutarh și dezvoltate chiar de însuși Ptolemeu, în cartea sa *Almageste*, în legătură cu observațiile astronomice.

Problema era să se găsească lungimea coardei ADB corespunzătoare arcului ACB luînd ca unitate raza cercului (fig. I-11). Utilizînd o metodă matematică ingenioasă,

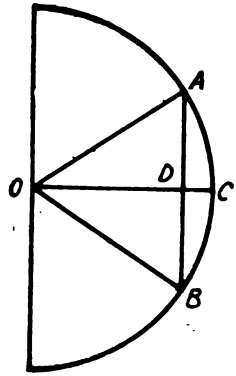


FIG. I—11 Relaţia dintre „tabelul de coarde" al lui Plutarh şi tabelele trigonometrice moderne. Plutarh a tabelat lungimea coardelor ADB pentru diferite lungimi ale arcului ACB. În trigonometria modernă se tabelează lungimile AD (jumătăţi de coardă) în funcţie de arcul AC. Lungimea AD se numeşte *sinusul* sau *sin* al unghiului AOC, în timp ce lungimea OD se numeşte *cosinusul*, sau *cos* al aceluiaşi unghi.

Ptolemeu a construit un tabel, din care o parte este reprodusă mai jos:

Arce	*Coarde*	*Arce*	*Coarde*	*Arce*	*Coarde*
116°	1,014 557	117 1/2°	1,023 522	119°	1,032 344
116 1/2°	1,020 233	118°	1,025 137	119° 1/2	1,033 937
117°	1,021 901	118 1/2°	1,030 741	120°	1,035 523

Acest tabel corespunde la ceea ce azi se cunoaşte sub numele de tabelă trigonometrică de *sinusuri*, cu singura diferenţă că se utilizează jumătăţi de arce (unghiul AOC) şi jumătăţi de coarde AD. Cînd raza cercului este egală cu unitatea, lungimea AD se numeşte sinusul lui AOC, iar distanţa OD este cosinusul lui AOC. Funcţiile trigonometrice sînt extrem de utile în rezolvarea diferitelor probleme în care este vorba despre lungimi şi unghiuri.

Dacă Ptolemeu ar fi comparat rezultatele experienţei sale asupra refracţiei luminii cu tabela sa de sinusuri, el ar fi aflat că *raportul dintre sinusul unghiului de incidenţă*

şi sinusul unghiului de refracţie este o constantă pentru oricare două medii în care acest fenomen are loc. El nu a făcut acest lucru şi legea aceasta a refracţiei nu a fost descoperită decît cu 14 secole mai tîrziu, de către astronomul şi matematicianul danez Willebrord Snell*. Cum vom vedea mai departe legea lui Snell este de o deosebită importanţă pentru înţelegerea naturii luminii.

Opera lui Ptolemeu a fost ultima mare contribuţie a culturii antice greceşti la dezvoltarea ştiinţei, iar după moartea sa, cercetările ştiinţifice din Alexandria au început să decadă. Probabil că ultimul nume care ar mai putea fi menţionat în legătură cu şcoala din Alexandria este acela al Hypatiei, fiica matematicianului Theon, ea însăşi dascăl de ştiinţă şi filozofie. Ea a trăit în timpul domniei împăratului roman Iulian Apostatul, care a încercat să protejeze învăţătura greacă şi zeii greci împotriva puterii mereu crescînde a bisericii creştine. Reacţia care a avut loc după moartea sa, în anul 415 e.n., s-a manifestat violent într-o mare răscoală antigrecească, organizată de episcopul Kirillos din Alexandria. Hypatia a fost sfîşiată în bucăţi de către gloatele de creştini, iar rămăşiţele bibliotecii oraşului au fost distruse.

---

* Snell Van Royen (Willebrord) cunoscut şi sub numele de Willebrordus Snellius. — *N.T.*

II

Evul mediu şi Renaşterea

O dată cu stingerea culturii greceşti, dezvoltarea ştiinţei, în general, şi a fizicii, în particular, a marcat o aparentă stagnare. Romanii, care erau stăpînii lumii în această perioadă a istoriei omenirii, au realizat destul de puţin în domeniul gîndirii abstracte. Cu toate că încurajau ştiinţa, ei s-au îndreptat spre o „civilizaţie a oamenilor de afaceri", fiind interesaţi, îndeosebi, în aplicaţiile practice. După căderea Imperiului roman situaţia a evoluat din rău în mai rău, iar statele feudale care s-au ridicat pe ruinele lui nu au constituit un sol fertil pentru dezvoltarea nici unei ştiinţe. În această perioadă, întinsă pe mai bine de 1 000 ani, singurul stimul în această direcţie au fost religia creştină, abaţiile şi mînăstirile, care au devenit centre intelectuale. Ca urmare, principalele interese au fost orientate spre teologie, iar ideile ştiinţifice rămase după căderea culturii antice greceşti au fost supuse dictaturii religiei. Sistemul ptolemeic al lumii, cu Pămîntul în centru şi cu Soarele, planetele şi stelele rotindu-se în jurul său, a fost acceptat ca o dogmă de neclintit, deoarece se potrivea cel mai bine cu conceptul asupra poziţiei centrale a Vaticanului, ca locuinţă a emisarilor aleşi, ai lui Dumnezeu, pe pămînt. Discuţiile „ştiinţifice" se limitau aproape numai la probleme de tipul: cîţi îngeri pot dansa pe vîrful unui ac şi dacă atotputernicul Dumnezeu „poate face o piatră atît de grea, încît el însuşi să n-o poată ridica".

Un fel de „Lîsencism"* primitiv înflorea în toată Europa, şi sfînta inchiziţie avea grijă să distrugă orice deviaţie de la linia generală a credinţei religioase.

* De la Lisenko. — *N.T.*

Spre norocul nostru, ştiinţa greacă a găsit un refugiu în nou-născutul Imperiu arab, care în decursul secolului al VII-lea a înghiţit toate ţările din sudul Mediteranei şi s-a întins şi în Spania, în jurul strîmtorii Gibraltar. Generosul suveran Harun al-Rashid din faimoasele *O mie şi una de nopţi* a fondat, în anul 800 e.n., o şcoală de ştiinţă la Bagdad, în timp ce oraşul Cordova din Spania devenea centrul cultural al Imperiului arab pe pămîntul european. Învăţaţii arabi studiau şi traduceau manuscrisele greceşti salvate din bibliotecile elene distruse în parte, arborînd drapelul ştiinţei, în timp ce Europa era sufocată de ghearele scolasticii medievale. Epoca arabă este prezentă în istoria ştiinţei prin anumiţi termeni ştiinţifici folosiţi şi azi, ca: *Al*gebra, *Al*cool, *Al*caline, *Am*algam, *Al*manah, *An*tares etc.

Arabii au realizat un progres considerabil în matematici, dezvoltînd algebra, necunoscută grecilor şi introducînd numerele arabe, care făceau calculul mai uşor decît era în sistemul roman. Dar, aşa cum se întîmplă şi în poveştile cu zîne ale Şeherezadei, cercetările lor în astronomie şi chimie se limitau, în special, la urmărirea unor scopuri fantastice, şi anume, prezicerea vieţii omului pe baza configuraţiei stelelor sub care s-a născut fiecare (astrologia), sau găsirea metodelor pentru transformarea metalelor obişnuite în aur (alchimia). Ei nu par să fi făcut ceva în domeniul fizicii, cu excepţia, desigur, a faptului că alchimia ar putea fi considerată ca precursoare a tehnicii moderne de transformare a unui element chimic în altul. Dar, „cînd maurul şi-a făcut datoria, maurul poate să plece", şi deci, în secolul al XII-lea, Imperiul arab a căzut ca urmare a invaziei lui Genghis-han şi a cruciadelor creştine din Ţara sfîntă.

În acest timp, statele europene începuseră să iasă încet din haosul întunecatului ev mediu şi, paralel, ştiinţa atingea din nou alte culmi. În anul 784 e.n., Carol cel Mare, rege al Imperiului francilor, a decretat ca pe lîngă toate mănăstirile de pe vastul său domeniu să funcţioneze şcoli. În anul 1100 a fost fundată Universitatea din Paris, iar la scurt timp după aceasta au fost înfiinţate universităţile din

Bologna, Oxford şi Cambridge, acestea devenind rapid centre recunoscute ale activităţii scolasticii. Cursurile constau, de obicei, dintr-un *trivium*, care cuprindea gramatica latină, retorica şi logica, şi *quadrivium*, cuprinzînd aritmetica, geometria, muzica şi astronomia. Totuşi educaţia se afla încă sub supravegherea severă a bisericii, iar universităţile din toate ţările catolice trebuiau să obţină aprobarea papei pentru a-şi continua existenţa. Studiile se bazau, în special, pe scrierile lui Aristotel, care au ajuns în Europa în traducere arabă. Aşa cum am mai arătat, faptul că Aristotel, care deşi excela în multe alte domenii, nu era de loc extraordinar în fizică nu a adus, desigur, nici un reviriment al acestei ştiinţe, în Europa, care tocmai se trezea din somnul ei de un mileniu.

Unul dintre factorii importanţi în răspîndirea ştiinţei a fost inventarea tiparului pe la mijlocul secolului al XV-lea în atelierul lui Fust din Mainz, Germania, iar una dintre cele mai importante cărţi care a ieşit din această primă tiparniţă a fost, fără îndoială, *De revolutionibus Orbitum Coelestium** (Nürnberg Press, 1543) de Nicolaus Copernicus, în care acesta a stabilit un nou sistem al lumii avînd Soarele în centrul său. Dar pentru a evita proscrierea ei de către biserică, s-a considerat necesar să fie completată cu o prefaţă (scrisă, probabil, fără ştirea lui Copernic, de către editorul său Andreas Osiander) în care se afirma că toate ideile exprimate în carte erau ipotetice şi că reprezentau mai mult un exerciţiu matematic decît o descriere a unor stări de fapt.

LEGILE LUI KEPLER ŞI STILUL LUI ORATORIC

Amestecul de teologie şi ştiinţă adevărată din această perioadă este, probabil, cel mai bine ilustrat în următorul pasaj din *Mysterium Cosmographicum* (1596) al lui Johannes Kepler, descoperitorul legilor de bază ale mişcării planetare. Fiind dedicată unei categorii a nobilimii germane care

* Despre mişcările de revoluţie ale corpurilor cereşti.

sprijinea cercetările lui Kepler, cartea începe cu următoarele cuvinte:

„Iluştrilor Nobili şi Cinstiţilor Domni, Sigismund Friedrich Baron de Herberstein... Prea Nobililor Domni ai Ilustrelor State ale Styriei, Onorate Consiliu al celor Cinci, bunii şi graţioşii mei Domni,

Salutări şi Umile Respecte!

Am promis acum şapte luni să realizez o lucrare, care după judecata învăţaţilor să fie elegantă, impresionantă şi pe departe superioară tuturor calendarelor anuale; vă prezint acum dumneavoastră, graţioasă adunare a nobililor mei Domni, o lucrare care, deşi mică, şi fruct al modestelor mele eforturi, tratează totuşi un subiect minunat.

Dacă doriţi maturitate — Pitagora a tratat-o deja acum aproape 2 000 de ani — dacă doriţi noutate — este prima dată cînd acest subiect e prezentat întregii omeniri de către mine. Dacă doriţi un scop — nimic nu e mai preţios, nimic nu e mai frumos decît magnificul templu al lui Dumnezeu. Dacă doriţi să cunoaşteţi mistere — nimic nu este sau nu a fost mai obscur ca el în Natură. Într-o singură privinţă obiectul meu nu va satisface pe oricine, utilitatea lui nu va fi evidentă pentru cel neatent. Voi vorbi despre Cartea Naturii, care este atît de cinstită în *Sfînta Scriptură*. Sf. Paul îi îndeamnă pe păgîni să mediteze la Dumnezeu în sinea lor ca şi cînd s-ar vedea în Soare, în apă sau într-o oglindă. Dacă sîntem creştini să ne bucurăm mai puţin de această meditaţie ştiind că propria noastră preocupare este de a-l cinsti, venera şi admira pe Dumnezeu pe calea cea adevărată? Cucernicia noastră este cu atît mai mare cu cît sîntem mai conştienţi de creaţia şi măreţia lui. Este adevărat, cîte imnuri de laudă n-a cîntat David credinciosul slujitor al Creatorului, care nu este altul decît singur Dumnezeu. În ele sufletul său este stăpînit de smerenia contemplării cerurilor. Cerurile, cîntă el, întrupează gloria lui Dumnezeu. Voi socoti că cerul e opera mîinilor Tale, şi Luna şi Stelele, pe care Tu le-ai creat. Dumnezeu este Domnul nostru şi mare este puterea lui; El numără multitudinea Stelelor şi le cunoaşte pe nume. În altă parte, inspirat de duhul sfînt, şi plin de bucurie, el exclamă către Univers: Laudă pre Domnul, laudă-l pre El, Soare şi Lună etc.

Mai departe citim:

Faptul că întreaga lume e circumscrisă într-o sferă a fost, de altfel, discutat în mod exhaustiv de către Aristotel (în cartea sa *Despre Cer*), care, în mod particular, se sprijină pe semnificaţia specială a suprafeţei sferice.

Pe acest motiv, chiar şi acum, sfera externă cu stele fixe îşi păstrează această formă, deşi nu i se poate atribui nici un fel de mişcare. Ea ţine Soarele în partea sa cea mai ascunsă aşa cum de altfel şi este. Faptul că celelalte orbite sînt rotunde poate fi văzut din mişcarea circulară a stelelor. Astfel nu avem nevoie de altă probă ca să ne dăm seama că această curbă a fost folosită pentru a înfrumuseţa lumea. Există totuşi trei feluri de cantităţi în lume, *viz.*: forma, numărul şi conţinutul corpurilor; curbarea se găseşte numai în formă. În acest sens, conţinutul nu e important, deoarece o structură se înscrie concentric într-una similară (de exemplu, sferă în sferă, sau cerc în cerc), fie că ele se ating pe undeva, fie că nu. Sfericitatea, deoarece reprezintă o cantitate absolută unică, poate fi guvernată numai de numărul Trei.

În timpul cînd scria aceste pasaje cu înfloriturí, Kepler lucra din greu la o problemă mult mai prozaică: legea exactă a mişcării planetare. Sistemul copernican, aşa cum se prezintă în *De Revolutionibus*, presupune că orbitele planetare sînt cercuri, în concordanţă cu vechea tradiţie a filozofiei greceşti care considera că cercul este o curbă perfectă, iar sfera un corp perfect. Însă această presupunere nu era în deplină concordanţă cu măsurătorile amănunţite ale mişcării planetare efectuate de către astronomul danez Tycho Brahe, în observatorul său propriu, Uraniborg, pe o mică insulă nu departe de Copenhaga. Student şi asistent al lui Tycho, şi dispunînd de cunoştinţe considerabile de matematică acumulate prin citirea lucrărilor lui Euclid şi ale altor clasici greci, Kepler şi-a pus problema descoperirii formei exacte a orbitelor planetare şi a legilor care guvernează mişcarea acestora.

După ani de muncă, el a ajuns la prima sa descoperire importantă. El a găsit că, deşi în mişcarea lor în jurul Soarelui planetele nu urmează orbite exact circulare, ele descriu o altă clasă de curbe, tot atît de celebre ca şi cercul din vechea geometrie euclidiană. Această clasă de curbe este cunoscută sub numele de *secţiuni conice* şi poate fi definită ca intersecţia unui con cu plane diferit orientate (fig. II-1). Dacă planul e perpendicular pe axa conului obţinem, evident, în secţiune, un cerc. Dacă planul este înclinat faţă de axa conului, obţinem curbe închise alungite, cunoscute sub numele de *elipse*. Cînd planul este paralel

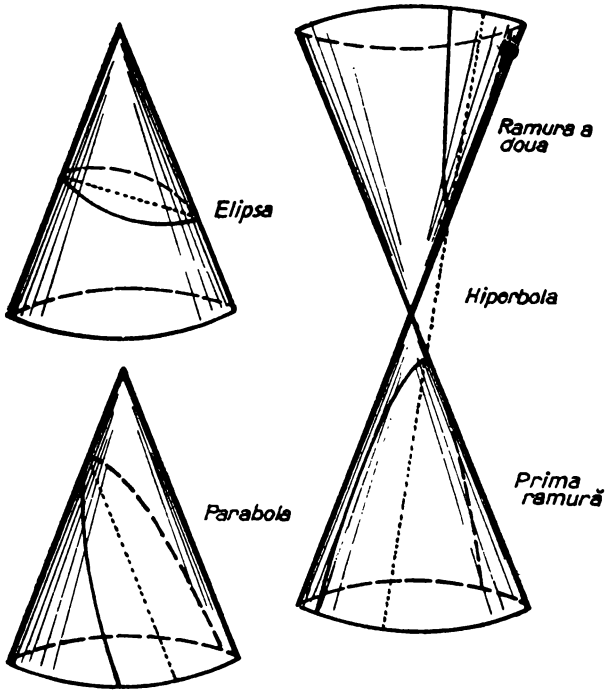


FIG. II—1 Secţiunile conice obţinute prin secţionarea unui con cu un plan, la diferite unghiuri.

cu generatoarea conului, una dintre extremităţile elipsei dispare la infinit şi avem atunci curba deschisă cunoscută sub numele de *parabolă*. Cu cît planul se înclină mai tare (se apropie de verticală. — *N.T.*), parabola devine mai „deschisă" şi se transformă în *hiperbolă*. Ar fi de notat că în cazul hiperbolei avem două ramuri separate, a doua ramură obţinîndu-se prin intersecţia planului cu partea a doua a conului, aşezată deasupra şi inversată. O elipsă mai poate fi definită ca un şir de puncte astfel alese, încît suma distanţelor fiecăruia dintre ele de la două puncte fixe numite focare să fie aceeaşi. Astfel putem desena o elipsă legînd o aţă de două pioneze fixate într-un carton şi mişcînd creionul astfel, încît aţa să fie întotdeauna întinsă. Hiper-

bola poate fi definită şi ea ca un şir de puncte a căror *diferenţă* a distanţelor faţă de cele două focare rămîne constantă.

Analizînd datele lui Tycho Brahe asupra poziţiilor planetelor între stele, Kepler a ajuns la concluzia că totul ar fi foarte bine, dacă s-ar presupune că *planetele urmează orbite eliptice cu Soarele situat într-unul din focare*. El a descoperit, de asemenea, că în mişcarea lor în jurul Soarelui, planetele se mişcă mai repede cînd sînt mai aproape de Soare *(la periheliu)* şi mai încet cînd sînt foarte departe *(la apheliu)*. Corelaţia dintre vitezele planetei şi distanţa ei faţă de Soare, pe diferitele porţiuni ale orbitei, este astfel încît *linia imaginară care uneşte Soarele şi planeta mătură arii egale din orbita planetară în intervale de timp egale* (fig. II-2 *a*). Aceste două legi de bază ale mişcării planetare au fost enunţate de către Kepler în 1609 şi sînt cunoscute ca prima şi a doua lege ale lui Kepler.

După ce a găsit legile de mişcare ale planetelor individuale, Kepler a început să caute corelaţii între diferite planete, pentru care i-au trebuit nouă ani ca să le găsească. El a încercat toate posibilităţile, de exemplu, corelaţia dintre orbitele planetare şi poliedrele regulate din geometria în spaţiu, însă părea că nimic nu se potrivea. În cele din urmă, Kepler a făcut o strălucită descoperire, cunoscută astăzi drept cea de-a treia lege a lui Kepler. Ea stabileşte că *pătratele perioadelor de revoluţie ale diferitelor planete în jurul Soarelui se află în acelaşi raport ca şi cuburile distanţelor lor mari la Soare*. În fig. II 2 *b* se dă schema orbitelor aşa-numitelor planete interioare — Mercur, Venus, Pămîntul şi Marte — şi distanţele lor exprimate în raze de orbită pămîntească (aşa-numita unitate astronomică), precum şi perioadele lor de revoluţie în ani. Luînd *pătratele perioadelor de revoluţie* obţinem şirul:

0,058; 0,378; 1,000; 3,540.

Pe de altă parte, luînd *cuburile distanţelor*, obţinem:

0,058; 0,378; 1,000; 3,540.

Identitatea celor două şiruri verifică corectitudinea celei de a treia legi a lui Kepler.

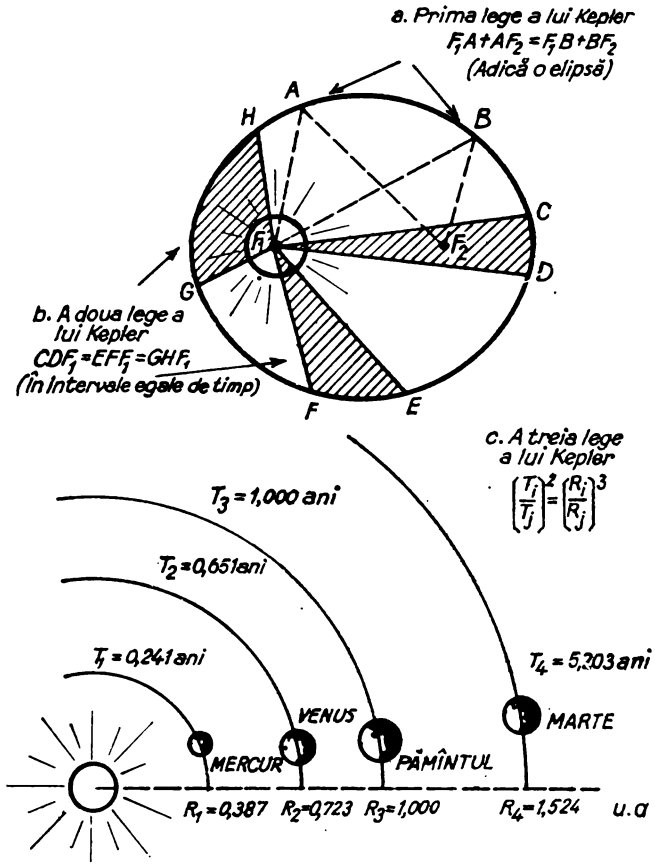


FIG. II—2 Cele trei legi ale lui Kepler asupra mişcării planetare.

Astfel, la începutul secolului al XVII-lea oamenii de ştiinţă au aflat *cum* se mişcă planetele în jurul Soarelui, însă a trebuit mai mult de jumătate de secol pînă cînd au putut să răspundă la întrebarea de ce este aşa.

LANŢUL LUI STEVINUS

În timp ce Kepler era preocupat, în special, de sferele cereşti, contemporanul său, inginerul flamand Simon Stevinus, avea preocupări mult mai pămînteşti, căutînd să extindă

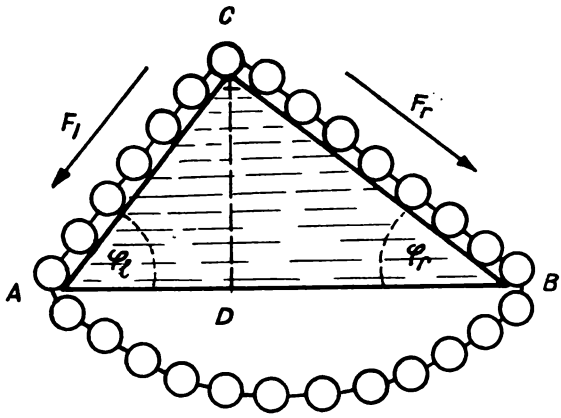


FIG. II—3 Lanţul fără sfirşit al lui Stevinus care demonstrează legea echilibrului pe un plan înclinat.

lucrările lui Arhimede asupra echilibrului mecanic, cunoscute în mod obişnuit sub numele de „statică". Contribuţia lui principală a fost soluţia dată problemei echilibrului pe un plan înclinat, care se părea că nu a fost atacată de Arhimede şi, aşa după cum vom vedea mai departe, a fost tratată în mod eronat de către Heron. Pe coperta cărţii lui Stevinus asupra staticii apărea o schiţă ca şi cea arătată în fig. II-3, care dezvăluia un mare progres în înţelegerea problemelor de echilibru. Un lanţ format dintr-un mare număr de bile de metal *(ball bearings,* cum se numeşte azi) e aşezat pe un suport în formă de prismă cu laturi foarte polizate *(fără frecare)*. Ce se va întîmpla? Deoarece sînt mai multe bile pe partea dreaptă a prismei (fiind cea mai lungă) decît pe partea stîngă (care e mai scurtă) s-ar putea crede că, datorită diferenţei în greutate, lanţul va începe să se mişte de la dreapta la stînga. Deoarece însă lanţul e continuu, această mişcare nu se va opri niciodată şi lanţul se va învîrti de jur împrejur, la nesfîrşit. Dacă acesta ar fi adevărul, am putea monta nişte dispozitive cu roţi dinţate şi am putea pune în mişcare orice fel de maşinărie fără nici o cheltuială pentru un timp nelimitat. Am obţine un lucru din nimic şi omenirea ar beneficia mult mai mult decît de la toate promisiunile programului „Atomul în slujba păcii". Însă

Stevinus, fiind un om practic şi serios, a înlăturat această posibilitate şi a postulat că lanţul va rămîne în echilibru. Astfel, tracţiunea bilei care se află pe planul înclinat descreşte cu unghiul dintre ea şi planul orizontal, şi este, desigur, în deplin acord cu faptul că asupra unei bile situate pe planul orizontal nu acţionează nici o forţă. Deoarece numărul bilelor situate pe laturile stîngă şi dreaptă se pare că este proporţional cu lungimea acestor laturi, putem scrie, dacă notăm cu F_l şi F_r forţele ce acţionează asupra unei singure bile pe fiecare latură:

$$F_l \times \overline{AC} = F_r \times CB,$$

sau

$$F_l/F_r = \overline{CB}/\overline{AC}.$$

Introducînd *sinusurile* unghiurilor φ_l şi φ_r, care caracterizează cele două pante, avem:

$$\sin \varphi_l = \overline{CD}/\overline{AC}; \ \sin \varphi_r = \overline{CD}/\overline{CB},$$

astfel încît relaţia de mai sus poate fi scrisă sub forma

$$F_l/F_r = \text{Sin } \varphi_l/\sin \varphi_r$$

Exprimată în cuvinte aceasta înseamnă că forţa gravitaţiei acţionînd asupra unui obiect situat pe un plan înclinat, în direcţia acestui plan, este direct proporţională cu sinusul unghiului de înclinare.

PENDULUL

În timp ce Stevinus făcea progrese considerabile în studiile sale de statică, cinstea de a fi făcut primii paşi în ştiinţa dinamicii, adică în studiul mişcării corpurilor materiale, i-a revenit fiului unui nobil florentin sărăcit al cărui nume era Vincenzio Galilei. Deşi pe Signor Vincenzio îl interesa mai mult matematica, el intenţiona să-l îndrume pe tînărul său fiu, Galileo, către o carieră medicală, ca fiind mai bănoasă. Astfel, în 1581, la vîrsta de 17 ani, Galilei a început studiul medicinii la Universitatea din Pisa. Se pare însă că el nu găsea prea plăcută ocupaţia de a diseca cadavre, iar mintea sa frămîntată căuta altfel de probleme.

O dată, pe cînd asista la o liturghie în Catedrala din Pisa, Galilei urmăiea distrat un candelabru care continua să se mişte după ce îngrijitorul aprinsese lumînările. Oscilaţiile consecutive deveneau din ce în ce mai mici şi, încet, încet, candelabrul se opri. „Durata oscilaţiilor devine, oare, mai mică"? se întrebă Galilei. Neavînd cronometru — pentru că nu fusese inventat încă la vremea aceea — Galilei s-a hotărît să măsoare durata oscilaţiilor consecutive numărîndu-şi pulsul. Şi probabil, spre surprinderea lui, el a descoperit că deşi oscilaţiile deveneau din ce în ce mai mici, durata lor rămînea exact aceeaşi. Venind acasă, el a repetat experienţa cu o piatră legată la capătul unei sfori şi a obţinut acelaşi rezultat. A mai descoperit că pentru o lungime dată a sforii, perioada de oscilaţie rămîne aceeaşi, indiferent dacă se foloseşte în experienţă o piatră uşoară sau grea. Astfel a apărut un nou instrument, cunoscut sub numele de pendul. Deşi abia păşise în domeniul medicinei, Galilei a inversat sensul descoperirii sale şi a sugerat utilizarea unui pendul cu o lungime standard pentru măsurarea bătăilor pulsului pacienţilor. Acest instrument, cunoscut sub numele de „pulsometru", a devenit foarte popular în medicina acelor timpuri şi este precursorul elegantului ceas de mînă la care priveşte sora, îmbrăcată în alb, în timp ce ţine mîna pacientului. Dar aceasta a fost şi ultima contribuţie a lui Galilei în domeniul ştiinţei medicale, deoarece studiul pendulului şi al altor dispozitive mecanice au schimbat complet preocupările sale. După cîteva discuţii avute cu tatăl său, el şi-a schimbat planurile universitare şi a început să studieze matematica şi ştiinţele.

Cîţiva ani interesul său a fost concentrat în domeniul cunoscut sub numele de *dinamică* — acesta fiind studiul legilor mişcării. Care este perioada pendulului independent de „amplitudine", adică de mărimea oscilaţiei? De ce o piatră uşoară sau grea ataşată la capătul aceleiaşi sfori oscilează cu aceeaşi perioadă? Galilei n-a răspuns niciodată la prima problemă, deoarece rezolvarea ei cerea cunoaşterea calculului, care a fost inventat de către Newton aproape cu un secol mai tîrziu. El nu a rezolvat nici o a doua problemă, care avea să aştepte pînă la apariţia lucrărilor lui Einstein, asupra teoriei generale a relativităţii. Însă, desigur, Galilei a avut o contribuţie importantă la formularea ambelor

probleme, chiar dacă nu şi la rezolvarea lor! Mişcarea pendulului este un caz special de cădere provocat de forţa gravitaţiei. Dacă ridicăm o piatră şi nu o mai susţinem, ea va cădea în linie dreaptă, în jos, spre pămînt. Dacă însă piatra este legată cu o sfoară şi agăţată de tavan cu un cîrlig, ea e forţată să descrie un arc de cerc. Dacă o piatră grea şi una uşoară, legate cu sfoară (de aceeaşi lungime), parcurg distanţa pînă la poziţia cea mai de jos în acelaşi timp (o pătrime din perioada de oscilaţie a pendulului), atunci aceste două pietre cad în acelaşi timp la pămînt, dacă sînt lansate de la aceeaşi înălţime. Această concluzie vine în conflict cu opinia general acceptată a filozofiei aristotelice din acea vreme, după care corpurile mai grele cad mai repede decît cele mai uşoare. Pentru a-şi verifica părerea, Galilei a lăsat să cadă două sfere, una de lemn şi alta de fier, din Turnul înclinat din Pisa şi spectatorii neîncrezători, de jos, au observat că cele două sfere au atins pămîntul în acelaşi timp. Cercetări istorice par să indice că această demonstraţie nu a avut loc niciodată şi că ea ar ţine de domeniul legendei. De asemenea, nu e sigur că Galilei ar fi descoperit legea pendulului pe cînd se ruga în catedrala din Pisa. Desigur însă că el a aruncat obiecte de diferite greutăţi probabil de pe acoperişul casei sale, şi a făcut să oscileze pietre legate cu sfoară, probabil în curtea sa din spatele casei.

LEGILE CĂDERII

Cînd i se dă drumul unei pietre, ea se mişcă în jos din ce în ce mai repede şi Galilei dorea să afle ce legi matematice guvernează această mişcare accelerată. Însă căderea corpurilor se produce prea repede pentru a putea fi studiată în detaliu, fără a utiliza aparatura modernă, ca de exemplu fotografia rapidă. De aceea Galilei s-a hotărît să „dilueze forţa gravitaţiei" făcînd ca bila să se rostogolească pe un plan înclinat (fig. II-4). Cu cît este mai înclinat planul, cu atît mai repede se rostogoleşte bila şi în cazul limită al planului vertical bila cade liberă de-a lungul acestuia. Dificultatea cea mai mare în realizarea acestui experiment era măsurarea timpului în care bila străbătea diferite distanţe. Galilei a rezolvat această problemă folosind un ceas de apă în care timpul era măsurat de cantitatea de apă care curgea printr-o

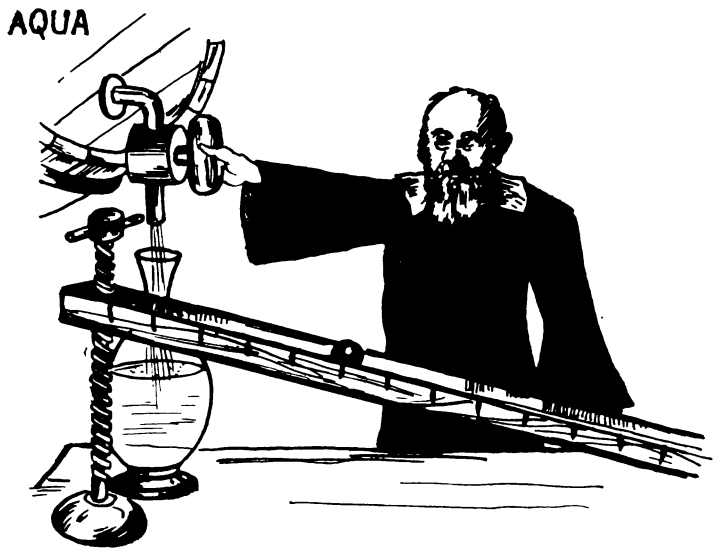


FIG. II—4 Galilei studiind mişcarea accelerată a unei bile care se rostogoleşte pe un plan înclinat.

deschizătură mică aflată la baza unui mare rezervor. Marcînd poziţiile bilei la intervale egale de timp, începînd cu punctul de pornire, el a găsit că distanţele străbătute în aceste intervale de timp se află în rapoartele 1:3:5:7 etc. Cînd planul devenea mai puţin înclinat, distanţele corespunzătoare deveneau mai lungi însă raportul lor rămînea întotdeauna acelaşi. De aceea, Galilei a tras concluzia că această lege trebuie, de asemenea, să fie valabilă şi în cazul limită al căderii libere. Rezultatul obţinut mai înainte poate fi exprimat în diferite forme matematice, spunînd că distanţa străbătută într-o anumită perioadă de timp e proporţională cu pătratul acestui timp, sau, cum se spunea pe vremea lui Galilei, „dublu proporţională" cu timpul. Fără îndoială că, dacă luăm drept unitate de lungime distanţa străbătută de bilă în primul interval de timp, distanţa străbătută la sfîrşitul diferitelor intervale consecutive va fi 1^2, 2^2, 3^2, 4^2 etc., sau 1, 4, 9, 16 etc. Astfel, distanţele

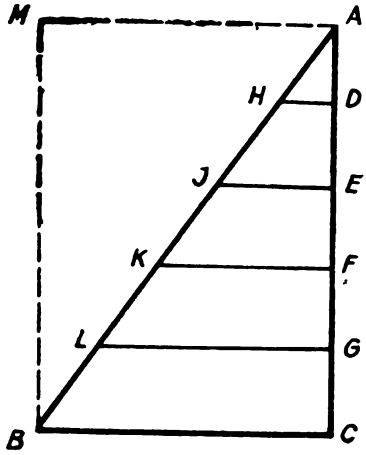


FIG. II—5 Verificarea făcută de Galilei în ceea ce priveşte mişcarea (uniform) accelerată care începe din repaus; distanţa străbătută de corpul care se mişcă este jumătate din cea pe care ar fi străbătut-o corpul dacă s-ar fi mişcat tot timpul cu aceeaşi viteză.

străbătute în decursul fiecăruia dintre intervalele de timp consecutive va fi $1; 4-1=3; 9-4=5; 16-9=7$ etc.*

Din observarea dependenţei distanţei străbătute în timp Galilei a tras concluzia că viteza unei astfel de mişcări trebuie să crească proporţional cu timpul. Să vedem cum justifică însuşi Galilei această afirmaţie.**

„În mişcarea accelerată, creşterea] (vitezei) fiind continuă, nu se pot separa diferitele grade de viteză (valori ale vitezei, în limbaj modern), care cresc continuu, la orice valoare, deoarece ele se schimbă în fiecare moment şi tind spre infinit. De aceea, cel mai bine ar fi să exemplificăm această idee cu ajutorul triunghiului ABC (fig. II-5).

Vom lua pe latura AC atîtea părţi egale cîte ne va plăcea, AD, DE, EF, FG, GC şi prin punctele D, E, F, G să ducem linii paralele cu baza BC. Să ne închipuim că segmentele marcate pe latura AC sînt

* Algebric, dacă distanţa totală străbătută la sfîrşitul celui de al n-lea interval de timp este n^2, distanţa străbătută în ultimul interval de timp este $n^2-(n-1)^2 = n^2-n^2+2n-1 = 2n-1$.

** Galileo Galilei, *Dialogue on the Great World Systems*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1953, pp. 244—245 (reprodus cu permisie).

timpuri egale, şi paralelele prin punctele D, E, F şi G să reprezinte gradele de viteză accelerată, care creşte cu cantităţi egale în timpuri egale. Fie punctul A starea de repaus de la care pornind, corpul va avea, de exemplu, după timpul AD, un grad de viteză DH; în timpul următor presupunem că viteza va creşte de la DH la EJ, şi aşa mai departe, în intervalele de timp următoare va fi FK, GL etc.

Dar, din cauză că acceleraţia e continuă de la un moment la altul şi nu discontinuă, pornind din punctul A, cînd viteza are valoarea minimă, adică cea corespunzătoare stării de repaus, şi considerînd primul interval de timp AD care s-a scurs, atunci înainte ca viteza corpului să atingă gradul (valoarea) DH la capătul intervalului de timp AD, corpul trebuie să fi trecut printr-un număr infinit de grade de viteză mai mică, parcurgînd numărul infinit de momente de timp cuprinse în intervalul DA, corespunzătoare numărului infinit de puncte cuprinse pe segmentul DA. De aceea, pentru a reprezenta gradele infinite de viteză care preced gradul DH e necesar să ne imaginăm linii succesiv mai scurte, şi mai scurte, care se presupune că ar fi determinate de numărul infinit de puncte de pe segmentul DA şi paralele la DH. Acest număr infinit de linii reprezintă chiar suprafaţa triunghiului AHD. În felul acesta ne putem închipui orice distanţă străbătută de corp, într-o mişcare ce începe în repaus şi e uniform accelerată, pentru a fi străbătut şi utilizat numărul infinit de grade de viteză, ce cresc la fel ca şi numărul infinit de linii care, începînd cu punctul A, se presupun a fi trasate paralel cu linia HD şi cu celelalte: IE, KF şi LG, mişcarea continuîndu-se atît cît dorim.

Să completăm acum paralelogramul $AMBC$ şi să prelungim BM nu numai pe acele paralele la BC care au fost desenate pe figură, dar şi toate cele care pot fi trasate prin toate punctele laturii AC; împreună cu BC toate aceste paralele vor reprezenta gradul cel mai mare de viteză pe care îl poate atinge un corp într-o mişcare accelerată şi întreaga suprafaţă a triunghiului este masa şi suma tuturor vitezelor cu care mobilul străbate un anumit spaţiu într-un anumit timp AC. În acest caz, paralelogramul dă numai gradul de viteză maxim, egal cu valoarea BC. Această mulţime de viteze este de două ori valoarea vitezelor care cresc în triunghiul considerat, căci paralelogramul este dublul triunghiului, şi de aceea corpul care cade cu o mişcare accelerată conform triunghiului ABC a parcurs, într-o anumită perioadă de timp, o anumită distanţă; e foarte raţional şi probabil că dacă ar fi avut o mişcare uniformă, ar fi străbătut în acelaşi timp o distanţă dublă faţă de aceea străbătută într-o mişcare accelerată".

Deşi limbajul folosit este foarte întortocheat şi încurcat, să nu uităm că a fost scris în 1632 şi tradus în engleză (de către Thomas Salisbury) în 1661! În afară de faptul că reprezintă o primă formulare a legii căderii libere a corpurilor, pasajul citat mai sus din *Discorso* conţine, de asemenea, primul pas spre dezvoltarea aşa-numitului „calcul integral", în care rezultatele se obţin prin adunarea unui număr infinit de mare de cantităţi infinit de mici. Folosind notaţiile matematicii moderne, legea lui Galilei a mişcării uniform accelerate poate fi scrisă astfel:

$$\text{viteza} = \text{acceleraţia} \times \text{timpul}$$

şi

$$\text{distanţa (spaţiul)} = 1/2 \text{ acceleraţia} \times (\text{timpul})^2.$$

În cazul căderii libere, acceleraţia se notează, de obicei, cu litera g (pentru gravitaţie) şi este egală cu 981 cm/s $\left(\frac{\text{cm/s}}{\text{s}} = \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}\right)$, înţelegînd prin aceasta că în fiecare secundă după ce corpul a început să cadă, viteza sa creşte cu 981 cm/s. În unităţi anglo-americane g este egal cu 32,2 ft*/s. Pentru a da un exemplu, să considerăm o bombă care cade dintr-un avion; după 10 s va avea o viteză de:

$981 \times 10 = 9\,810$ cm/s $= 98{,}1$ m/s sau $32{,}2 \times 10 = 322$ ft/s şi va străbate o distanţă de $1/2 \times 981 \times 10^2 = 49.050$ cm $= 0{,}49$ km (sau $1/2 \times 32{,}2 \times 10^2 = 1\,610$ ft).

O altă contribuţie importantă a lui Galilei la problema de dinamică a fost ideea compunerii mişcărilor, care poate fi ilustrată cu ajutorul următorului exemplu simplu:

Să presupunem că ţinem o piatră la înălţimea de 5 ft deasupra pămîntului şi că o lăsăm să cadă. După formula dată mai sus piatra atinge pămîntul la 0,96 s după ce a fost lăsată să cadă şi într-adevăr:

$1/2 \times 32{,}2 \times (0{,}96)^2 = 5$ ft. Ce se întîmplă dacă, lansînd piatra, îi comunicăm şi o viteză orizontală, să zicem de 10 ft/s? Fiecare ştie, din experienţa sa personală, că în acest caz piatra va descrie o traiectorie curbă şi va cădea pe pămînt la o oarecare distanţă de noi. Pentru a trasa traiectoria pietrei în acest caz, trebuie să ţinem seama că piatra

---

* Prescurtare pentru *foot* = picior; unitate de măsură pentru lungime egală cu 30,40 cm (adică 12 ţoli). — *N.R.*

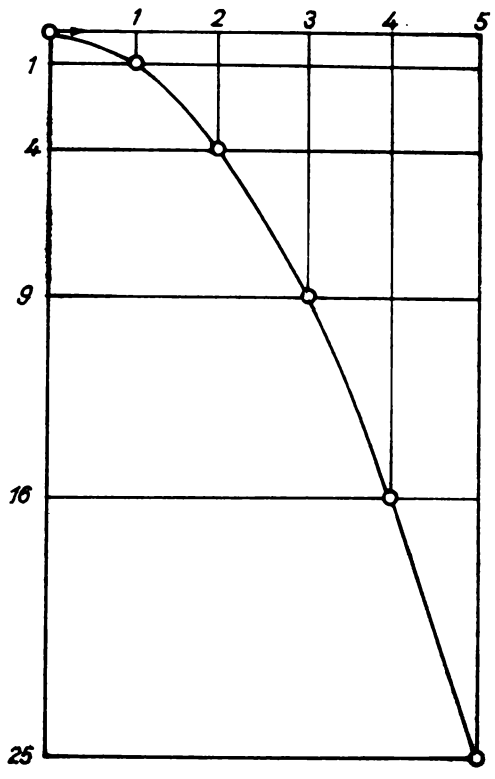


FIG. II—6 Compunerea unei mişcări uniforme pe orizontală cu o mişcare accelerată pe verticală. Curba care rezultă se numeşte parabolă.

are două mişcări independente una de alta: 1) mişcarea orizontală cu viteză constantă, care i-a fost comunicată în momentul lansării; 2) mişcarea verticală de cădere liberă cu o viteză care creşte proporţional cu timpul.

Rezultatul compunerii acestor două mişcări este arătat în fig. II-6. Pe axa orizontală reprezentăm intervale egale, corespunzătoare distanţelor străbătute de piatră în prima secundă, în a doua secundă etc.

Poziţiile pietrei (bilei) sînt reprezentate prin cerculeţe care se aşază pe o curbă cunoscută sub numele de para-

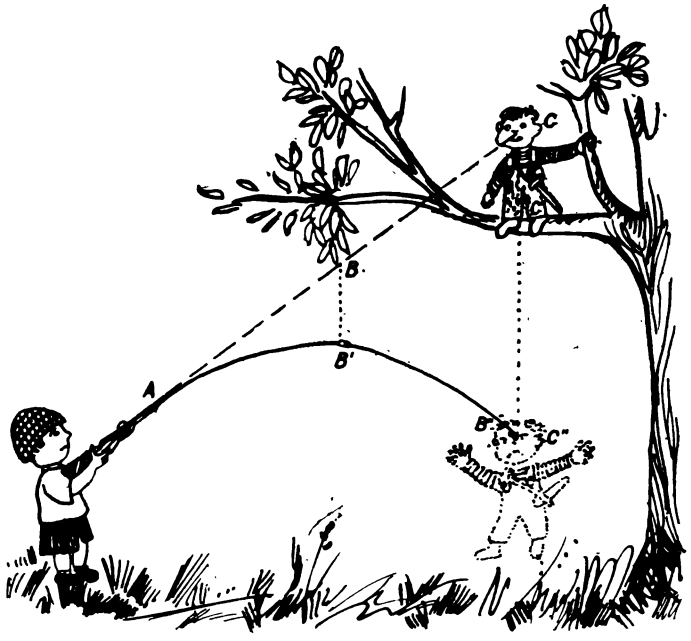


FIG. II—7 Deoarece toate corpurile cad cu aceeaşi acceleraţie, atunci un „cartuş", tras dintr-o puşcă cu dop (de jucărie), de un copil care se joacă de-a războiul în junglă, direct în „inamicul" care se află pe ramura unui copac, va lovi inamicul drept în nas, dacă el sare exact în momentul cînd s-a tras cu puşca.

bolă. Dacă aruncăm bila cu o viteză de două ori mai mare, ea va străbate, pe orizontală, o distanţă dublă, în timp ce pe verticală mişcarea va rămîne aceeaşi. Ca urmare, va cădea la o distanţă de două ori mai mare faţă de picioarele noastre, însă timpul de zbor prin aer va fi acelaşi. (În toate aceste consideraţii neglijăm frecarea cu aerul, care deformează într-o oarecare măsură traiectoria pietrei aruncate).

O interesantă aplicaţie a aceluiaşi principiu este problema celor doi copii care se joacă de-a războiul în junglă (fig. II-7). Unul dintre copii stă pe creanga unui copac în timp ce celălalt trage spre el cu o puşcă cu dop (de jucărie). Să presupunem că cel cu arma îl ocheşte pe celălalt din copac şi că, în momentul cînd primul apasă pe trăgaci,

celălalt sare de pe creangă în jos, spre pămînt. Îi va fi de folos această cădere la pămînt? Răspunsul este nu, şi iată de ce. În absenţa gravitaţiei cartuşul va parcurge linia dreaptă *ABC* spre punctul în care se găsea băiatul la început. Din cauza gravitaţiei, cartuşul începe să cadă totuşi din momentul cînd părăseşte gura ţevii şi va avea două feluri de mişcări: o mişcare uniformă de-a lungul liniei *ABC* şi o mişcare accelerată pe verticală. Deoarece toate corpurile materiale cad cu aceeaşi acceleraţie, mişcarea verticală a cartuşului şi a băiatului sînt identice. Astfel, cînd cartuşul ar fi ajuns în punctul *B*, jumătatea distanţei pînă la ţintă, el va fi căzut pe o distanţă *BB'*, care este egală cu distanţa *CC"* străbătută de băiat în cădere. Cînd cartuşul ar fi ajuns în *C*, în absenţa gravitaţiei el ar fi căzut pe distanţa *CB"* (de două ori distanţa *BB'*) care este egală cu distanţa *CC"* parcursă de băiat în cădere. În felul acesta băiatul va fi lovit drept în nas.

În loc să aruncăm o piatră sau să tragem un cartuş putem să lăsăm să cadă un obiect dintr-un vehicul în mişcare. Să presupunem că lăsăm să cadă o piatră din vîrful catargului unui vapor care se deplasează cu viteză mare (sau de pe o galeră propulsată cu vîsle, în timpul lui Galilei). În momentul lansării, piatra va avea aceeaşi viteză orizontală ca şi vasul şi va continua să se mişte cu această viteză orizontală după lansare, rămînînd însă tot timpul deasupra aceluiaşi punct. Componenta verticală a mişcării pietrei va fi o cădere liberă accelerată şi piatra va cădea pe punte chiar la baza catargului. La fel se va întîmpla, desigur, dacă lăsăm să cadă un obiect în interiorul unui compartiment de tren care se află în mişcare sau într-un avion care zboară, indiferent cît de repede s-ar mişca aceste vehicule.

Toate acestea ni se par foarte simple şi clare astăzi, dar nu la fel stăteau lucrurile şi pe vremea lui Galilei. Pe atunci se credea, conform învăţăturilor lui Aristotel care dominau gîndirea ştiinţifică a acelui timp, că obiectul se mişcă atîta timp cît este împins (cîtă vreme asupra lui acţionează o forţă) şi că se opreşte, atunci cînd forţa dispare. În concordanţă cu acest punct de vedere, o piatră lansată din vîrful catargului va cădea vertical, în timp ce corabia îşi continuă mersul înainte. De aceea se aştepta ca piatra să cadă pe punte ceva mai în spate spre coada corăbiei (pupa).

Conform metodelor scolastice medievale aceste probleme au fost discutate pro şi contra, timp îndelungat, dar nimeni nu s-a urcat pe catargul unei corăbii în mişcare ca să arunce piatra!

Situaţia este pitoresc ilustrată de următoarele pasaje din cartea lui Galilei *Dialog despre cele două mari sisteme principale ale lumii*,* publicată în 1632 la Florenţa. Urmînd tradiţia scriitorilor greci antici, Galilei a scris cartea sub forma unei conversaţii între trei personaje din minunatul oraş Veneţia: *Salviatus*, care vorbeşte în numele autorului; *Sagredus*, un profan inteligent şi *Simplicius*, un nu prea strălucitor reprezentant al şcolii şi gîndirii aristotelice. Mai jos urmează un fragment din discuţia lor referitoare la căderea pietrei de pe catargul unei corăbii în mişcare şi dintr-un turn ridicat pe Pămîntul (după Copernic) în mişcare:

„*Salviatus*... Spune deci Aristotel că un argument foarte sigur al imobilităţii Pămîntului ar fi faptul că noi vedem proiectilele aruncate pe verticală, întorcîndu-se pe aceeaşi direcţie, în acelaşi loc de unde au fost trase şi aceasta chiar cînd mişcarea s-a făcut pînă la o foarte mare înălţime... astfel că argumentul proiectilului tras de un tun pe verticală concordă cu celălalt folosit de Aristotel şi de Ptolemeu cu privire la corpurile grele ce cad de la mari înălţimi şi care se îndreaptă spre pămînt după o linie dreaptă şi perpendiculară pe suprafaţa acestuia. Acum, pentru a începe dezlegarea acestor noduri, îl întreb pe signor Simplicius, prin ce mijloace ar demonstra acest lucru unora care ar nega cele spuse de Ptolemeu şi Aristotel, după care corpurile grele, căzînd liber de la înălţime ar urma o linie dreaptă şi verticală, adică îndreptată spre centru.

Simplicius: Cu ajutorul simţurilor, care ne asigură că acel turn este drept şi vertical şi ne arată cum piatra în căderea ei, trece pe lîngă el fără a devia nici cu un fir de păr într-o parte sau alta, şi se izbeşte de pămînt chiar la piciorul lui, exact sub locul de unde a fost lăsat să cadă.

Salviatus: Dar dacă din întîmplare globul pămîntesc s-ar învîrti şi în consecinţă ar transporta cu el şi turnul, şi dacă totuşi s-ar vedea că piatra în timpul căderii urmăreşte firul turnului, care va trebui să fie mişcarea?

---

* Galileo Galilei, *Dialog despre cele două sisteme principale ale lumii*, Editura Ştiinţifică, Bucureşti, 1962, p. 62.

Simplicius: Ar trebui să vorbim, în acest caz, mai degrabă despre „mişcările sale", pentru că una ar fi cea după care ar cădea de sus în jos, şi cealaltă pe care va trebui să o aibă pentru a urmări mişcarea turnului.

Salviatus: Mişcarea lui ar fi deci compusă din două părţi... din această compunere va rezulta că piatra nu mai descrie o simplă linie dreaptă şi verticală, ci una transversală şi poate nici dreaptă.

Simplicius: Nu ştiu dacă nu va fi dreaptă; dar înţeleg bine că neapărat va fi transversală...

Salviatus: Urmează că numai prin faptul de a vedea o piatră căzînd de-a lungul turnului nu puteţi afirma cu siguranţă că ea descrie o linie dreaptă şi verticală, decît dacă presupunem de la început că Pămîntul stă pe loc.

Simplicius: Aşa şi este; pentru că dacă Pămîntul s-ar mişca, mişcarea pietrei ar fi transversală şi nu verticală...

Salviatus: Apărarea lui Aristotel constă deci în faptul că este imposibil sau, cel puţin, că el a socotit o imposibilitate ca piatra să se poată deplasa după o mişcare rectilinie şi una circulară; pentru că, dacă el nu ar fi considerat ca imposibil, ca piatra să se poată mişca deodată şi în spre centru şi în jurul lui, el ar fi înţeles că se poate întîmpla ca piatra în cădere să treacă de-a lungul turnului, atît în cazul că acesta s-ar mişca cît şi în cazul în care ar sta în repaus şi, în consecinţă, şi-ar fi dat seama că din această trecere de-a lungul turnului nu se putea trage nici o concluzie în ce priveşte mişcarea sau nemişcarea Pămîntului. Dar acest lucru nu-l scuză de fel pe Aristotel, nu numai pentru că ar fi avut această idee — care constituie un punct atît de important în argumentaţia sa, dar mai mult, pentru că nici nu se poate spune că acest efect este imposibil şi nici că Aristotel l-ar fi considerat imposibil. Prima afirmaţie nu poate fi susţinută, pentru că vă voi arăta îndată nu numai că lucrul este posibil ci chiar necesar: tot aşa, nu poate fi susţinută nici a doua, pentru că Aristotel însuşi atribuie focului ridicarea naturală în linie dreaptă, precum şi mişcarea circulară diurnă, împărtăşită de către cer întregului element al focului şi celei mai mari părţi din aer; deci dacă el nu consideră imposibilă combinarea mişcării ascendente cu cea circulară, comunicată focului şi aerului de către sfera lunară, cu atît mai puţin va trebui să considere imposibilă combinarea mişcării descendente a pietrei cu cea circulară, dacă aceasta ar aparţine în mod natural, întregului glob pămîntesc din care piatra face parte".

Mai departe, în *Dialog*, Salviatus propune o experienţă foarte interesantă pentru a verifica punctul său de vedere exprimat în discuţia de mai înainte:

„Salviatus: Vă faceţi prea multe scrupule în legătură cu aceasta deşi depinde de altceva, dacă greşesc sau nu, păsările fiind fiinţe vii, şi deci capabile să-şi folosească forţa după dorinţă, împotriva mişcării primare (impulsului primar) înnăscute în corpurile materiale. De exemplu, le vedem zburînd pe sus, lucru care ar trebui să fie imposibil pentru corpurile grele; fiindcă atunci cînd sînt moarte, ele cad în jos. Din acest motiv, ceea ce e adevărat pentru toate tipurile de proiectile nu e adevărat pentru păsări. Acest lucru este foarte adevărat, şi, deoarece e adevărat, vedem că păsările vii se comportă altfel decît corpurile care cad. Dacă din vîrful unui turn lăsaţi să cadă o pasăre moartă şi una vie, pasărea moartă se va comporta la fel ca o piatră, ea va urma mişcarea generală diurnă (a Pămîntului) şi în acelaşi timp va cădea la fel ca o piatră. Însă dacă pasărea care cade e vie, ce o împiedică (întotdeauna va avea în ea şi mişcarea diurnă) să-şi ia zborul cu ajutorul aripilor către acel punct de la orizont spre care doreşte? Şi această nouă mişcare, fiind caracteristică păsării, şi la care noi nu participăm, poate fi observată de către noi. Pe scurt, efectul zborului păsării diferă de zborul proiectilelor aruncate în orice parte a lumii, prin aceea că proiectilele se mişcă datorită unei proiecţii, cîtă vreme păsările se mişcă datorită unui principiu interior.

Pentru o verificare finală a lipsei de valoare a tuturor experienţelor efectuate mai înainte voi concepe acum modelul cum să se demonstreze adevărata lor valoare precum şi locul şi timpul potrivit. Astfel, încercaţi să vă închideţi împreună cu nişte prieteni în cea mai mare cameră de sub puntea unui vapor, asigurîndu-vă să aveţi acolo ţînţari, muşte şi alte mici insecte zburătoare. Luaţi de asemenea şi un ciubăr mare plin cu apă şi introduceţi înăuntru cîţiva peşti; atîrnaţi o sticlă specială de tavan, din care să picure, picătură cu picătură, apa pe care o conţine, într-o altă sticlă cu gîtul subţire aşezată sub ea. Cînd vaporul stă pe loc observaţi cum zboară micile insecte, cu diferite viteze, în toate părţile camerei, cum înoată peştii, indiferent în ce direcţie şi cum cad picăturile în sticla de dedesubt. Şi cum, aruncînd ceva spre prietenii dumneavoastră, la aceeaşi distanţă, nu veţi avea nevoie de mai multă forţă într-o direcţie decît într-alta; sărind, în orice direcţie, veţi străbate aceeaşi distanţă. Observînd aceste lucruri, de care nu se îndoieşte nimeni, atîta vreme cît

vasul stă pe loc, ele decurg la fel aşa cum am spus mai sus şi cînd se mişcă vasul cu viteza pe care o doriţi, cîtă vreme însă mişcarea lui e uniformă şi nu fluctuează încoace şi încolo. Nu veţi fi în stare să descoperiţi nici cea mai mică alterare a efectelor descrise mai sus, şi nici nu veţi deduce cu ajutorul vreunuia, dacă vaporul se mişcă sau stă pe loc. Cauza acestui fenomen este că mişcarea vaporului e comună tuturor obiectelor pe care le conţine ca şi a aerului din interiorul lui. În cazul cînd faptele de mai sus s-ar petrece pe punte, în plin aer şi nu într-o cabină închisă, s-ar putea observa o serie de diferenţe mai mult sau mai puţin vizibile ale efectelor descrise mai sus, şi nimeni nu s-ar îndoi că fumul ar rămîne în urmă ca şi aerul; muştele şi ţînţarii vor fi împiedicaţi de aer şi nu vor putea să urmărească mişcarea vaporului, dacă se vor separa la o anumită distanţă de el; însă dacă se ţin foarte aproape cum şi vaporul are un profil cu adînciturі şi ridicături, el antrenează cu sine o parte din aerul care se află în imediata lui apropiere; şi de aceea, insectele care se vor afla în aceste regiuni vor putea urmări corabia fără dificultate sau efort. Din acelaşi motiv le vom vedea în poziţie de călărie, deoarece supărătoarele muşte de cal, pentru a urmări caii, zboară uneori pe o parte, alteori pe alta, a corpului acestora. La fel, şi în căderea picăturilor, diferenţa va fi foarte mică, iar la aruncarea şi proiectarea corpurilor grele va fi cu totul imperceptibilă.

Sagredus: Deşi cînd eram pe mare nu mi-a trecut prin minte să probez aceste observaţii, totuşi sînt convins că ele decurg întocmai cum le-ai formulat. Pentru a confirma acest lucru îmi amintesc că, aflîndu-mă în cabina mea, eram nespus de curios să ştiu dacă corabia se mişcă sau stă pe loc; uneori credeam chiar că se mişcă într-o direcţie, deşi de fapt ea se mişca în alta. De aceea sînt satisfăcut şi în acelaşi timp convins de inutilitatea tuturor acelor experienţe care ar încerca să verifice contrarul celor spuse.

Mai rămîne obiecţia bazată pe experienţa care ne-a fost arătată, şi anume, cu o roată care se învîrteşte repede aruncînd şi dispersînd substanţa care se află pe ea. Pe acest fapt mulţi îşi bazează părerea, şi Ptolemeu printre alţii, că dacă Pămîntul se roteşte cu o mare viteză, pietrele şi fiinţele de pe el ar fi asvîrlite în cer şi nu ar exista nici un fel de mortar suficient de puternic pentru a înţepeni fundaţiile clădirilor astfel încît ele să nu fie smulse".

Afirmaţia că este imposibil să afli dacă un vapor e ancorat sau se mişcă pe mare cu ajutorul vreunui experiment mecanic în interiorul unei cabine închise este cunoscută ca „principiul

lui Galilei al relativității". Au trebuit să treacă aproape trei sute de ani de dezvoltare a fizicii pentru ca acest principiu să fie extins de către Albert Einstein la cazul fenomenelor optice și electromagnetice, așa cum se observă într-o cabină închisă care se mișcă uniform. Iată cît de importantă a fost contribuția lui Galilei la știința mecanicii.

GALILEI ASTRONOMUL

Pe lîngă faptul că a fost unul dintre primii fizicieni teoreticieni și experimentatori, Galilei a adus contribuții deosebite în astronomie, deschizînd omenirii perspective nelimitate asupra universului ce ne înconjură. Atenția i-a fost atrasă pentru prima dată de către cer în anul 1604, cînd o nouă stea strălucitoare (pe care acum le numim *nove*), a apărut pe neașteptate într-o noapte printre mereu aceleași constelații cunoscute astronomilor de mii de ani. Galilei, care pe atunci avea 40 ani, a demonstrat că era vorba într-adevăr de o stea și nu de vreun tip de meteor din atmosfera terestră, și a prezis că treptat va păli (va scădea din luminozitate). Apariția unei noi stele pe cer, care după filozofia lui Aristotel și învățămintele bisericești, era considerată ca fiind absolut de neschimbat, i-a adus lui Galilei mulți dușmani printre colegii săi din știință și în rîndurile înaltului cler. La numai cîțiva ani după primul pas făcut de el în studiul cerului, Galilei a revoluționat astronomia, construind primul telescop astronomic, pe care îl descrie cu următoarele cuvinte:

„Cu aproximativ zece luni în urmă a ajuns la urechile noastre un zvon cum că a fost elaborat de către un olandez un instrument optic cu ajutorul căruia obiectele vizibile, chiar dacă sînt situate la o distanță mai mare de ochiul observatorului, se văd distinct ca și cînd s-ar afla aproape de el, și s-au urzit fel și fel de istorii despre acest minunat lucru, unii dîndu-le crezare, iar alții nu. Același lucru mi-a fost confirmat cîteva zile mai tîrziu, într-o scrisoare trimisă din Paris de către nobilul francez Jacob Badovere, care m-a determinat, în cele din urmă, să caut eu însumi să aflu teoria (explicația) și să descopăr modul în care aș putea inventa un instrument similar — lucru pe care l-am realizat ceva mai tîrziu — bazîndu-mă pe considerații din teoria

refracției. Mai întîi mi-am făcut un tub de plumb, la capătul căruia am potrivit două lentile de sticlă, ambele plane pe o parte, iar pe cealaltă parte una fiind sferic convexă, iar cealaltă concavă".

Construind acest instrument, el a scrutat cerul și minunile universului au început să se deschidă în fața ochilor lui. Astfel, observînd luna, a constatat că:

„Suprafața lunii nu e perfect netedă, fără relief, și nici exact sferică, așa cum cred numeroasele școli ale filozofilor despre lună ca și despre alte corpuri cerești. Dimpotrivă, ea e plină de inegalități (relief), acoperită inegal cu adînciturі și ridicături, la fel ca și suprafața Pămîntului care e peste tot variată, cu munți înalți și văi adînci".

Observînd planetele, el a găsit că:

„Planetele prezintă discul lor perfect rotund, ca și cînd ar fi trasat cu compasul, și apar astfel ca multe luni mici, complet iluminate și de formă globulară; însă stelele fixe nu apar privite cu ochiul liber (se pare că este pentru prima dată cînd apare o astfel de expresie) ca fiind mărginite de o limită circulară, ci mai degrabă ca niște străluciri luminoase emițînd raze în toate direcțiile și foarte scînteietoare; în telescop ele apar ca și cînd ar fi privite cu ochiul liber."

El a observat planeta Jupiter la 7 ianuarie 1610 și a notat:

„Există trei mici stele însă foarte strălucitoare, în apropierea planetei; deși eu cred că aparțin stelelor fixe, ele m-au uimit întrucitva, deoarece par să fie aranjate exact în linie dreaptă, paralele cu ecliptica, și par a fi mai strălucitoare decît restul stelelor, egale cu ele ca mărime... În partea de est există două stele, și una singură în partea de vest.... Însă cînd, la 8 ianuarie, împins de o anume fatalitate am privit din nou spre aceeași parte a cerului, am găsit o situație cu totul diferită, pentru că cele trei mici stele se aflau, toate, în partea de vest a planetei Jupiter și mult mai aproape una de alta decît în noaptea precedentă".

Astfel, Galilei a dedus că:

Există trei stele pe cer care se mișcă în jurul lui Jupiter, la fel ca și Venus și Mercur în jurul Soarelui.

Privind la Venus şi Mercur şi descoperind că prezintă uneori forme crescătoare, la fel ca şi Luna, el a tras concluzia că:

„Venus şi Mercur se rotesc în jurul Soarelui ca şi celelalte planete. Un adevăr în care credeau Şcoala pitagoreică, Copernic şi Kepler, însă niciodată verificat cu ajutorul simţurilor, era verificat acum în cazul lui Venus şi Mercur".

Privind calea Lactee, el a găsit că:

„... nu e altceva decît o masă de nenumărate stele grupate în roiuri."

Descoperirile lui Galilei făcute cu ajutorul telescopului au adus probe care nu puteau fi negate în ceea ce priveşte corectitudinea sistemului lui Copernic asupra lumii, pe care el l-a dus triumfător mai departe. Însă, desigur, aceasta era mai mult decît o putea permite sfînta inchiziţie; el a fost arestat, supus unei detenţiuni îndelungate, în singurătate, interogat, dar toate acestea nu par să-i fi schimbat spiritul combativ. La 15 ianuarie 1633, cu cîteva luni înainte de judecata finală, Galilei scria prietenei sale Ella Diodati:

„Cînd întreb: cine a făcut Soarele, Luna, Pămîntul, Stelele, mişcarea şi dispunerea lor, eu probabil voi spune că le-a făcut Dumnezeu. Dacă continui să întreb cine a făcut Sfînta Scriptură, eu spun cu certitudine că aceasta e opera Sfîntului Spirit, adică, de asemenea, opera lui Dumnezeu. Iar dacă întreb, dacă Sfîntul Spirit foloseşte cuvinte care să contrazică adevărul pentru satisfacerea înţelegerii maselor — în general inculte — sînt convins că mi s-ar spune, cu multe citate din scrierile sfinte (din scriitorii sanctificaţi), că este, desigur, caracteristic Sfintei Scripturi să conţină sute de pasaje, care, luate literal, nu ar fi altceva decît erezie şi blasfemie, pentru că în aceste citate Dumnezeu apare ca şi cînd ar fi plin de ură, vinovat şi neîndurător. Dacă întreb acum dacă Dumnezeu, aşa cum e înţeles de mase, şi-a modificat opera, sau dacă Natura, neschimbătoare şi inaccesibilă pentru dorinţele oamenilor, a păstrat întotdeauna aceleaşi forme de mişcare, forme şi diviziuni ale Universului, sînt sigur că mi se va spune că Luna a fost întotdeauna rotundă, cu toate că multă vreme ea a fost considerată plană (turtită). Pentru a condensa totul într-o fra-

ză: Nimeni nu va susține că Natura se schimbă întotdeauna în așa fel încît opera ei să fie cît mai agreabilă omului. Dacă aceasta este situația, cînd mă întreb de ce este așa, pentru a ajunge la înțelegerea diferitelor părți ale Universului, trebuie să încep investigarea mai degrabă a cuvintelor Domnului decît a operei sale. Este deci opera mai venerabilă (demnă de a fi venerată) decît Cuvîntul? Dacă cineva consideră că e o erezie să spui că Pămîntul se învîrtește, și dacă ulterioare verificări și experiențe ne arată că este într-adevăr așa, cîte dificultăți ar întîmpina biserica! Dacă, dimpotrivă, Opera și Cuvîntul nu pot fi puse în acord, atunci vom considera Sfînta Scriptură ca fiind secundară și nu se va mai întîmpla nimic rău, ea fiind adesea modificată pentru a satisface masele, și atribuind adesea false calități lui Dumnezeu. De aceea trebuie să întreb asupra cui să insist cînd se vorbește despre Soare sau despre Pămînt, trebuie considerată oare Sfînta Scriptură complet infailibilă?"

La 22 iunie 1633, la vîrsta de 69 de ani, el a fost adus în fața judecătorilor Sfîntului Oficiu al bisericii și, stînd în genunchi, a „mărturisit":

„Eu, Galileo Galilei, fiul lui Vincenzio Galilei din Florența, în vîrstă de șaptezeci de ani*, fiind adus personal în fața judecății și îngenunchind în fața dumneavoastră Prea Eminenți și Prea Venerați Domni Cardinali, Inchizitori Generali ai Lumii creștine universale împotriva corupției și ereziei, avînd în fața ochilor mei Sfînta Evanghelie pe care o ating cu propria mea mînă, jur că am crezut întotdeauna și cu ajutorul lui Dumnezeu voi crede și în viitor, în fiecare articol pe care Sfînta Catolică și Apostolică Biserică îl susține, îl învață și îl predică. Însă deoarece eu am abandonat cu bucurie, cu ajutorul Sfîntului Oficiu, falsa opinie care susținea că Soarele este nemișcat și se află în centru, și care interzice să susții, să aperi sau să înveți sus-numita doctrină falsă în orice privință... Eu sînt gata să îndepărtez din mintea Eminențelor Voastre și a oricărui creștin catolic această gravă suspiciune care se menține asupra mea, de aceea cu inima deschisă și cu sinceră credință reneg, blestem și detest sus-numitele erori și erezii și în general orice altă eroare sau sectă care se opune cuvîntului Sfintei Biserici; și jur că nu voi mai spune sau susține în viitor nimic, prin viu grai sau în scris, care ar putea da naștere la o altă bănuială asupra mea; iar dacă voi afla orice eretic sau orice suspect de

* Acesta este textul original al mărturisirii lui Galilei. El avea de fapt 69 ani, 4 luni și 7 zile.

erezie, îl voi denunța acestui Sfînt Oficiu. Iar dacă se va întîmpla să calc vreuna din promisiunile, jurămintele și protestele mele (Dumnezeu mi-e martor), mă voi supune eu însumi la toate caznele și pedepsele care au fost decretate și promulgate de către sfintele canoane și de către alte constituții generale sau particulare împotriva delincvenților de acest gen. Așa să-mi ajute Dumnezeu și Sfînta Sa Evanghelie, pe care o ating cu propria mea mînă, eu, sus-numitul Galileo Galilei, am abjurat, jurat și promis să mă leg să îndeplinesc cele de mai sus; și, ca mărturie a acesteia, cu propria mea mînă am iscălit abjurarea mea scrisă pe care am recitit-o cuvînt cu cuvînt".

Există și o poveste în care se spune că imediat după „mărturisire" Galilei ar fi exclamat „*Eppur si muove*!" („Și totuși se mișcă!"), dar nu este adevărat, deși ea a pus bazele unei vechi anecdote, după care Galilei ar fi spus aceste cuvinte observînd coada unui cîine prietenos care intrase din greșeală în Sfîntul Oficiu al bisericii. Fiind condamnat pentru erezie, Galilei a fost închis în vila sa de la Arcetri de lîngă Florența, un fel de arest la domiciliu, cum spunem noi astăzi. La 8 ianuarie 1642, complet orb și obosit de viață, Galileo a murit.

III

*Dumnezeu a spus: „Să fie Newton!"**

În anul cînd Galilei murea în izolarea sa florentină, un copil prematur, botezat Isaac, se năştea într-o familie de fermieri din Lincolnshire, care purta numele de Newton. În timpul primilor ani de şcoală, Isaac nu arătă nici un semn al viitoarei sale străluciri. Era un copil bolnăvicios, timid, mai degrabă codaş la învăţătură. Ceea ce l-a scos din starea aceasta a fost o bătaie cu pumnii avută cu un coleg de şcoală care, fiind unul dintre elevii buni din clasă, era şi foarte agresiv cu ceilalţi băieţi. Fiind lovit în burtă de acest încrezut (al cărui nume istoria nu l-a păstrat), Newton l-a provocat la luptă şi l-a bătut pentru că avea „spiritul superior şi hotărît" al savantului de mai tîrziu. Cîştigînd din punct de vedere fizic, el s-a hotărît să-şi desăvîrşească victoria şi printr-o bătălie a inteligenţei şi astfel, muncind susţinut, a reuşit să devină primul din clasă. Cîştigînd şi o altă bătălie, împotriva mamei sale, care dorea să-l facă fermier, el a intrat la Trinity College, la vîrsta de 18 ani, dedicîndu-se studiului matematicii. În anul 1665 Newton şi-a luat gradul (diploma) de B.A.** fără nici o distincţie deosebită.

PROGRESUL REALIZAT ÎN TIMPUL EPIDEMIEI DE CIUMĂ

Pe la mijlocul verii anului 1665, marea plagă s-a năpustit asupra Londrei, şi, în cîteva luni, unul dintre zece londonezi era secerat de ciumă. Universitatea din Cambridge

* După un vers de Alexander Pope (1688—1744):
„Natura şi legile ei erau ascunse în noapte cînd zise Domnul: Să fie Newton! şi a fost lumină".

** Bachelor of Arts = licenţiat. — *N.T.*

aflîndu-se în apropierea focarului epidemiei, a fost închisă şi toţi studenţii trimişi acasă. Astfel, Newton s-a întors în casa părintească din Lincolnshire, unde a rămas 18 luni pînă la redeschiderea universităţii.

Aceste luni de izolare petrecute la ţară au fost cele mai productive din viaţa sa şi se poate spune că, în decursul acestui interval de timp, el a conceput propriu-zis toate ideile pentru care lumea îi este recunoscătoare.

Să citäm propriile sale cuvinte:

„La începutul lui 1665 am găsit... regula de reducere a oricărui rang (putere) a unui binom la o serie*. În acelaşi an, în mai, am descoperit metoda tangentelor... şi în noiembrie, metoda directă a fluxiunilor (adică elementele a ceea ce azi se cheamă calculul diferenţial), iar în anul următor, în ianuarie, teoria culorilor, şi în mai următor am făcut introducerea la metoda inversă a fluxiunilor (adică calculul integral) şi în acelaşi an am început să mă gîndesc la gravitaţie, extinzînd-o la orbita Lunii... şi... să o compar cu forţa necesară pentru a ţine Luna pe orbita ei cu ajutorul forţei de gravitaţie de la suprafaţa Pămîntului".

Restul carierei sale ştiinţifice a fost dedicat dezvoltării ideilor concepute la Lincolnshire.

La vîrsta de 26 de ani a fost numit profesor la Universitatea din Cambridge, iar la vîrsta de 30 de ani a fost ales membru al Societăţii Regale, cea mai înaltă distincţie acordată unui om de ştiinţă în Anglia. După biografii săi, Newton a fost exemplul perfect al profesorului distrat. El nu şi-a luat nici o vacanţă, nu a petrecut, călărind, în afara oraşului, ca să ia aer, nu s-a plimbat, nu a jucat *bowling*** sau altceva. A considerat că timpul pe care nu l-a petrecut în cabinetul său de studiu a fost pierdere de vreme. Muncea adesea pînă spre dimineaţă, uitînd să mănînce, şi o dată a apărut în sala de mese a colegiului „cu ghetele încălţate ca nişte papuci, cu ciorapii căzuţi, cu haina pe umeri şi cu părul abia netezit". Fiind întotdeauna absorbit de gînduri, era foarte naiv şi stîngaci în problemele vieţii de fiecare zi. Se spune că o dată a făcut o gaură în uşă pentru

* Aşa-numita teoremă a binomului lui Newton, care acum se învaţă în algebră.

** Popice. — *N.T.*

ca pisica să poată intra şi ieşi. Cînd pisica a avut pisoi a mai făcut cîte o gaură mai mică pentru fiecare dintre ei.

Ca om, Newton nu era prea plăcut şi se lăsa adesea antrenat în controverse cu colegii săi, poate o urmă adîncă a bătăii încasate cu mulţi ani în urmă pe vremea cînd fusese şcolar. Astfel, el se afla într-o dispută neplăcută cu un alt fizician de la Cambridge, Robert Hooke (fondatorul teoriei elasticităţii), în privinţa teoriei culorilor a lui Newton ca şi pentru prioritatea în descoperirea legii gravitaţiei universale. Mai era în dispută pentru prioritate şi cu matematicianul german Gottfried Leibnitz, referitor la inventarea calculului diferenţial, şi cu olandezul Christian Huygens, asupra teoriei luminii. Astronomul John Flamsteed, care discuta cu Newton în termeni foarte duri, îl descria pe acesta ca „perfid, ambiţios, avid de laude, irascibil la contradicţii... un om bun în fond, însă suspicios".

În anii cît a stat la Cambridge, Newton a lucrat la dezvoltarea ideilor sale strălucite pe care le-a conceput la vîrsta de 23—25 de ani, însă pe care le-a ţinut ascunse. Dezvoltarea lor completă a fost făcută cunoscută şi publicată mult mai tîrziu, în timpul vieţii sale, astfel: lucrările de mecanică şi asupra gravitaţiei la vîrsta de 44 de ani, iar lucrările de optică la vîrsta de 65 de ani.

PRINCIPIILE LUI NEWTON:

În prefaţa (datată la 8 mai 1686) a cărţii sale *Philosophiae naturalis principia mathematica** Newton scria:

„Deoarece cei vechi (după cum spune *Pappus*) au dat o mare importanţă *mecanicii* în cercetarea naturii, iar modernii, înlăturînd formele substanţiale şi calităţile oculte, s-au străduit să reducă fenomenele naturale la legi matematice, mi s-a părut potrivit să cultiv în acest tratat matematica, întrucît ea priveşte filozofia (naturii. — *N.T.*) Într-adevăr, cei vechi considerau mecanica de două feluri; cea *raţională*, care procedează prin demonstraţii precise şi cea *practică*. Celei

* În acel timp prin „filozofia naturii" se înţelegea studiul legilor naturii. Vezi versiunea în l. română, *Principiile matematice ale filozofiei naturale*, Editura Academiei, Bucureşti, 1956, pp. 11—12. — *N.T.*

practice aparţin toate artele manuale, de la care s-a împrumutat chiar numele de mecanică. Cum însă meseriaşii obişnuiesc să lucreze cu puţină precizie, se întîmplă că *mecanica* se deosebeşte de geometrie, astfel că tot ce este precis să aparţină geometriei, iar ceea ce este mai puţin precis, mecanicii. Dar erorile nu aparţin artelor, ci artiştilor. Cine lucrează cu mai puţină precizie este un mecanic mai imperfect, şi dacă cineva poate lucra cel mai precis el va fi mecanicul cel mai perfect dintre toţi...

Noi însă neocupîndu-ne cu artele, ci cu filozofia şi nedescriind despre puterile manuale, ci despre cele naturale, tratăm îndeosebi acelea care privesc gravitatea, uşurinţa, forţa elastică, rezistenţa fluidelor şi forţele asemănătoare, fie atractive, fie repulsive. Şi de aceea expunem acestea ca principiile matematice ale filozofiei. Căci toată dificultatea filozofiei pare a consta în aceea ca din fenomenele de mişcare să cercetăm forţele naturii, apoi din aceste forţe să deducem celelalte fenomene.

Aş dori... ca toate celelalte fenomene ale naturii să se deducă din principiile mecanice prin acelaşi fel de raţionament, căci am multe motive să cred că toate acelea pot depinde de forţe oarecare din care particulele corpurilor, din cauze necunoscute încă, sau sînt împinse unele spre altele şi se adună în figuri regulate, sau se resping şi se îndepărtează reciproc; despre care forţe necunoscute filozofii în zadar au întrebat pînă acum natura. Sper însă că principiile stabilite aici vor aduce oarecare lumină fie acestui mod de a filozofa, fie altuia mai adevărat".

În pasajul citat Newton expune programul aşa-numitei *„interpretări mecaniciste"* a tuturor fenomenelor fizice, un punct de vedere care a dominat în fizică pînă la începutul secolului nostru şi a fost înlăturat numai prin ciocnirea lui cu teoria relativităţii şi cu teoria cuantelor. Formulîndu-şi obiectivul, el trece apoi la dezvoltarea tratării matematice a fenomenelor mecanice în termeni atît de clari şi de precişi, încît ar putea fi folosiţi neschimbaţi în orice carte modernă de mecanică clasică. Reproducem aici pasajele de început ale *Principiilor* lui Newton, cu foarte puţine comentarii (în paranteze) pentru a clarifica semnificaţia modernă a terminologiei ştiinţifice a secolului al XVII-lea.

DEFINIȚII*

Definiția I. Cantitatea de materie este măsura ei, născută din densitatea și volumul ei luate împreună. Aerul de densitate dublă într-un spațiu iarăși dublu este cvadruplu; într-un spațiu triplu este sextuplu. Același lucru se poate spune și despre zăpada și pulberea condensate prin compresiune sau lichefiere; de asemenea, despre toate corpurile care se condensează din anumite cauze și în diferite feluri... (În limbaj modern spunem că masa oricărui obiect este produsul dintre densitatea și volumul lui).

Definiția II. Cantitatea de mișcare este măsura ei, născută din viteză și cantitatea de materie luate împreună. În limbaj modern, cantitatea de mișcare, în mod obișnuit denumită „momentul mecanic" sau, simplu, „momentul" sau „impulsul", este produsul dintre viteza și masa obiectului ce se mișcă. „Mișcarea întreagă este suma mișcărilor părților astfel că, într-un corp dublu, ea este dublă iar dacă și viteza este dublă, ea este cvadruplă.

Definiția III. Forța ce rezidă în materie este putința de rezistență cu care un corp oarecare, lăsat liber, persistă în starea sa de repaus sau de mișcare uniformă rectilinie.

Această forță este totdeauna proporțională cu masa corpului și nu se deosebește de inerția masei decît prin felul de a o concepe. Căci inerția materiei este aceea care face ca orice corp să fie perturbat cu greu din starea sa de repaus sau de mișcare. De aceea și forței ce rezidă în materie i se poate da numele semnificativ de inerție *(vis inertiae)*.

Definiția IV. Forța imprimată este acțiunea exercitată asupra unui corp, pentru a-i schimba starea de repaus sau de mișcare uniformă rectilinie.

Această forță constă numai din acțiune și ea nu rămîne în corp după acțiune. Căci corpul persistă în orice stare nouă (de mișcare) numai mulțumită forței de inerție. Forța imprimată provine din diverse origini, precum din ciocnire, din presiune, sau din forța centripetă".

---

* Newton, *op. cit.* pp. 27—28.

O dată definite noţiunile de *masă*, *impuls*, *inerţie* şi *forţă*, Newton continuă cu formularea legilor de bază ale mişcării:

„Legea I. Orice corp îşi păstrează starea sa de repaus sau de mişcare uniformă în linie dreaptă, dacă nu este constrîns de forţe imprimate să-şi schimbe starea* (fig. III-1*a*).

Proiectilele îşi continuă mişcarea cîtă vreme nu sînt încetinite de rezistenţa aerului, sau sînt atrase în jos de către forţa gravitaţiei. Un titirez (ale cărui părţi se ţin unite prin coeziune) nu încetează să se rotească decît atunci cînd este încetinit din cauza aerului. Corpurile mari ale planetelor şi cometelor care întîlnesc o mai mică rezistenţă în spaţiul liber îşi păstrează atît mişcarea de înaintare, cît şi cea circulară pentru multă vreme.

Legea II. Variaţia mişcării (adică a momentului mecanic) *este proporţională cu forţa motoare imprimată şi este dirijată după linia dreaptă în lungul căreia este imprimată forţa* (fig. III-1*b*).

Dacă o forţă oarecare produce o anumită mişcare, una dublă va produce una dublă, una triplă — una triplă, fie că se imprimă laolaltă şi deodată, fie treptat şi succesiv. Şi această mişcare (fiindcă este determinată totdeauna de aceeaşi parte a forţei generatoare) dacă corpul se află deja în mişcare, sau se adună la mişcarea lui dacă au aceeaşi direcţie, sau se scade din cealaltă de direcţie contrară; sau, dacă acţionează oblic, se adună oblic şi se compune cu ea după determinările amîndurora".

A doua lege a lui Newton poate fi formulată într-un mod diferit. Deoarece cantitatea de mişcare este un produs între masa obiectului şi viteza lui, viteza de variaţie a mişcării este produsul dintre masă şi rata de variaţie a vitezei, adică acceleraţia. Astfel se poate trage concluzia că acceleraţia unui obiect asupra căruia acţionează o anumită forţă e direct proporţională cu acea forţă şi invers proporţională cu masa obiectului. Pe baza acestei legi putem introduce unitatea de forţă, definind-o ca acea forţă care, acţionînd asupra unui obiect cu masa de 1 g, îi comunică acestuia acceleraţia de 1 cm/s în fiecare secundă. Această unitate de forţă se numeşte *dină* şi e destul de mică. Este aproxi-

* Newton, *op. cit.* pp. 37—38.

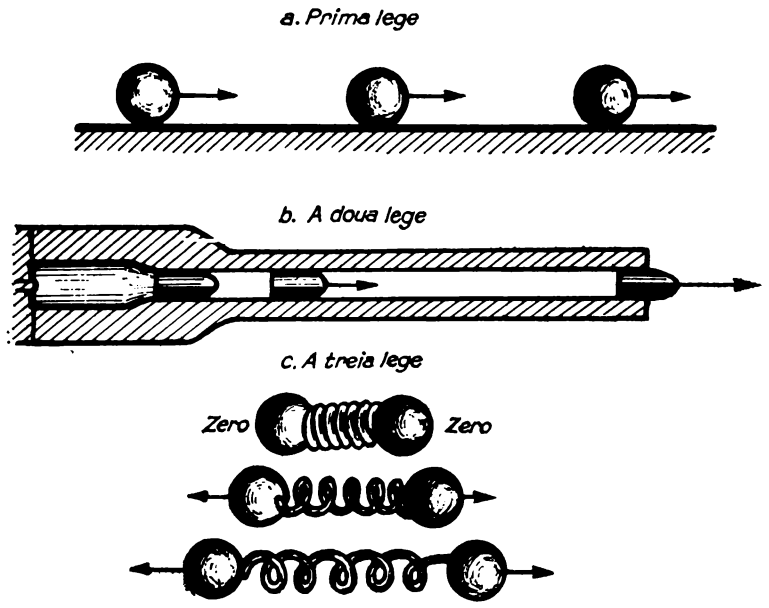


FIG. III—1 Cele trei legi ale lui Newton: *a* — o bilă pe planul orizontal, asupra căreia nu acționează nici o forță pe direcția sa de mișcare, se mișcă de-a lungul unei linii drepte cu viteză constantă; *b* — un cartuș în țeava puștii, fiind împins de gazele dezvoltate din pulbere (praful de pușcă), se mișcă cu o viteză care crește mereu; *c* — două bile împinse cu o forță egală de către un arc comprimat care se află între ele. Dacă presupunem că ele au mase egale, atunci se vor mișca, în direcții opuse, cu viteze egale.

mativ forța cu care o furnică își împinge greutatea (pe care o transportă). În tehnică se utilizează adesea o forță de 10^5 ori mai mare, care se numește *newton*.

Cînd o anumită forță, acționînd asupra unui obiect, îl deplasează cu o anumită distanță, produsul dintre această forță și distanță este cunoscut sub numele de *lucru* efectuat. Dacă forța este exprimată în dine și distanța în centimetri, lucrul este măsurat în unități cunoscute sub numele de *ergi*. În tehnică se utilizează o unitate de energie mult mai mare, care poartă numele de *joule*; 1 joule este egal cu 10^7 ergi. Pot fi introduse și unități de putere care ne

arată ce lucru se efectuează în unitatea de timp; acestea se măsoară, în mod obişnuit, în ergi pe secundă şi nu poartă un nume special. În tehnică se utilizează wattul, care este egal cu 1 joule/s sau 10^7 ergi/s, sau calul-putere, care este egal cu 751 W sau 0,751 kW.

Legea III. Reacţiunea este totdeauna contrară şi egală cu acţiunea: sau acţiunile reciproce a două corpuri sînt întotdeauna egale şi dirijate în sensuri contrarii (fig. III-1*c*).

Ceea ce apasă sau trage altceva este apăsat sau tras cu aceeaşi putere de acel ceva. Dacă cineva apasă o piatră cu degetul, degetul lui de asemenea este apăsat de piatră. Dacă un cal trage o piatră legată cu o funie, calul (ca să zic aşa) de asemenea este tras în mod egal de piatră. Căci funia întinsă de ambele părţi, făcînd sforţări egale de destindere va trage calul spre piatră şi piatra spre cal: şi împiedică tot atît progresul unuia, cît promovează pe al celuilalt".

De ce, s-ar putea întreba cineva, calul trage bolovanul şi nu bolovanul trage calul? Răspunsul este că, desigur, diferenţa constă în frecarea cu pămîntul. Cele patru picioare ale calului se înfig mai puternic în pămînt decît bolovanul şi de aceea calul e acela care trage; dacă nu ar fi aşa, bolovanul ar rămîne pe loc, şi copitele calului ar luneca. Punînd nişte rulouri (cilindri) sub piatră vom reduce frecarea cu pămîntul şi treaba calului va fi mai uşoară. Dacă frecarea ar fi absentă, ceea ce e aproximativ adevărat pe suprafaţa îngheţată a unui heleşteu, mişcarea a două obiecte care se trag sau se împing reciproc nu va fi aceeaşi, în afară de cazul cînd ar avea mase egale, din cauză că, pentru o anumită forţă dată, acceleraţia este invers proporţională cu masa. Dacă un om slab şi unul mare şi gras, stînd faţă în faţă pe gheaţă, îşi vor da unul altuia cîte un ghiont, cel slab va aluneca înapoi cu o viteză mai mare decît cel gras. În mod similar, viteza de recul a unei puşti este mult mai mică decît viteza glonţului (care e mult mai uşor) expulzat din ţeavă.

Principiul reculului e folosit la construcţia tuturor tipurilor de rachete. Gazele rezultate din arderea combustibilului rachetei sînt expulzate înapoi, prin orificiile speciale, cu o foarte mare viteză şi, ca rezultat al acestei acţiuni, corpul rachetei este împins înainte. Viteza finală a rachetei,

care se obține prin arderea totală a combustibilului, depinde de raportul greutății rachetei față de greutatea combustibilului; pentru performanțe mai bune acest raport trebuie să fie cît mai mic. La rachetele moderne, raportul greutății rachetei goale față de greutatea combustibilului este aproximativ același ca și raportul greutății unui ou gol (cojii de ou) față de oul întreg.

Nu este locul aici să discutăm probleme inginerești legate de tehnica rachetelor, ci ne vom limita doar să menționăm un incident petrecut la marele poligon de experimentare a rachetelor de la Cape Canaveral* din Florida. La începutul primei lecții în clasa I a unei școli elementare din localitate, învățătorul voia să afle ce știu copiii despre rachete. „Pot să număr?" s-a anunțat voluntar micul Johnny. „Dă-i drumul", i-a spus învățătorul, „numără": „Zece, nouă, opt, a început Johnny", șapte, șase, cinci, patru, trei, doi, unu... zero!"

Dar să ne reîntoarcem la Newton fără ca să abandonăm dintr-o dată problemele zborului în spațiu. Am putea menționa că el a fost primul care a avut ideea unui satelit al Pămîntului. În partea a treia a *Principiilor* citim:

„Cu ajutorul forțelor centripete planetele pot fi reținute pe anumite orbite, și putem înțelege ușor lucrul acesta, dacă vom considera mișcările proiectilelor; o piatră care este aruncată, sub acțiunea propriei ei greutăți este abătută de la drumul ei rectiliniu, pe care l-ar fi urmat datorită impulsului inițial și este forțată să descrie o linie curbă în aer. Urmînd această linie curbă, ea este adusă, în cele din urmă, jos pe pămînt; cu cît este mai mare viteza cu care e proiectată, cu atît mai departe va zbura înainte de a cădea pe pămînt. De aceea putem presupune că viteza va crește astfel, încît piatra să descrie un arc de 1, 2, 5, 10, 100, 1000 mile înainte de a cădea la pămînt, pînă cînd, depășind limitele pămîntului, va trece prin spațiu, fără să-l mai atingă. Fie *AFB* (fig. III-2) reprezentînd suprafața Pămîntului, *C*, centrul său, *VD*, *VE*, *VF*, liniile curbe pe care le-ar descrie corpul, dacă l-am proiecta pe o direcție orizontală din vîrful unui munte înalt (fără îndoială de pe undeva din muntoasa Scoție) cu o viteză din ce în ce mai mare; și deoarece mișcările cerești sînt abia încetinite de mica sau lipsa de

* Azi Cape Kenedy. — *N.T.*

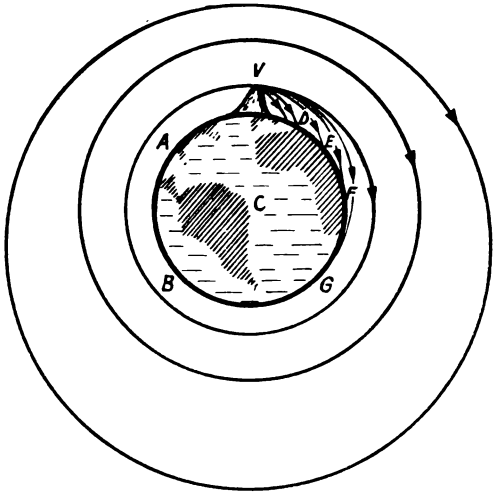


FIG. III—2 Traiectoria satelitului Pămîntului ca un caz limită al traiectoriei proiectilelor care cad tot mai departe de baza muntelui de la care sînt trase. (Adaptare după desenul original din *Principiile* lui Newton).

rezistenţă a spaţiului prin care se mişcă, pentru a păstra aceleaşi condiţii, să presupunem fie că nu există aer în jurul Pămîntului, fie că acesta este înzestrat cu o mică, sau chiar neglijabil de mică, putere de rezistenţă; şi pentru acelaşi motiv pentru care corpul proiectat cu viteză mai mică descrie arcul *VD* mai mic, şi cu o viteză mai mare, arcul *VE*, mai mare, şi dacă se măreşte viteza el merge mai departe şi mai departe *F* şi *G*, iar dacă viteza creşte şi mai mult, atunci, în cele din urmă, va fi în afara circumferinţei Pămîntului şi se va întoarce pe muntele de pe care a fost proiectat.

Dacă ne imaginăm acum că vom proiecta corpurile în direcţiile liniilor paralele cu orizontul, de la înălţimi de 5, 10, 100, 1000 sau mai multe mile, sau mai bine, mai multe semidiametre ale Pămîntului, aceste corpuri, în funcţie de viteza diferită de lansare şi forţa gravitaţiei diferită, la diferite înălţimi, vor descrie arcuri fie concentrice cu Pămîntul, fie excentrice, însă în mod diferit, vor efectua mişcări de revoluţie prin cer pe acele orbite la fel ca şi planetele care se mişcă pe orbitele lor".

Acest pasaj conţine ideea că una şi aceeaşi forţă, forţa gravitaţiei, e responsabilă atît de căderea pietrei, cît şi de mişcarea corpurilor cereşti, idee pe care Newton a enunţat-o pentru prima dată observînd căderea unui măr din pom. Oricum, dacă „teoria mărului" e adevărată sau nu, ea a inspirat şi următoarele versuri:

O dată pe cînd Newton păşea în gînduri adîncit,
Cu unul din fermierii vecinii s-a întîlnit,
Şi astfel a fost smuls din gîndurile sale asupra atracţiei universale,
Rugat fiind de vecin ca să mai stea puţin
Să mai sporovoiască. Şi-un vînticel sufla încetişor
Prin merii plini de floare şi de soare din livada micului vecin
Şi alergînd zburdalnic pe şosea, de la un cap la altul, mătura petalele uşor.
Şi-a zis vecinul către Newton: Stai:
Aş vrea să-mi spui şi mie un cuvînt, ei, hai!
Ştiu doar că ţi-a mers vestea de mare învăţat
Pentru că ai fost primul care a aflat din pom merele cum cad;
Despre aceste lucruri eu te rog a-mi spune şi chiar nimic a nu-mi ascunde.
Ei bine, i-a zis Newton, am să-ţi spun
Căci poate tu nu ştii anume, cum că exist-o forţă-n lume
Care scade cu cît creşte pătratul distanţei pînă la locul cu pricina
Şi forţa aceasta bat-o vina are-o acţiune chiar şi asupra Lunii,
Şi apoi, la urma urmei, şi asupra mărului din pomul tău.
Fii bun şi lasă astea, îi zise iar vecinul,
Căci nu le prea pricep, şi nici nu mă privesc,
Eu doar un lucru aş vrea să ştiu,
Despre livada mea, de meri în plină floare
Şi despre merele pe care-n tihnă le coace bunul soare
Şi anume, cît crezi oare că pot lua pe-un car de mere?

Traduse din engleză în care au fost transpuse de către BPG după versurile nepublicate, scrise în limba rusă, ale unui autor anonim.

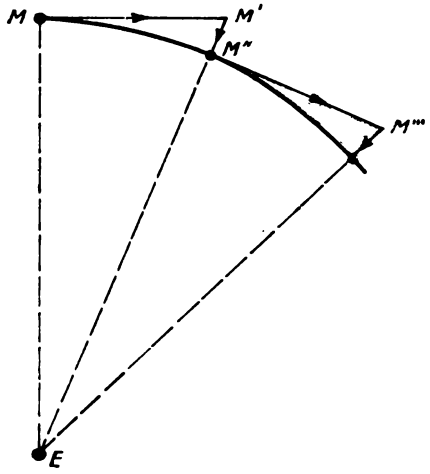


FIG. III—3 Considerînd mişcarea circulară a Lunii în jurul Pămîntului ca o cădere continuă (cf. fig. III—2), Newton a putut să calculeze acceleraţia cauzată de forţa gravitaţiei care acţionează asupra Lunii. Figura de mai sus arată cum se produce acest fenomen.

Pentru a stabili dependenţa forţei gravitaţiei de distanţa de centrul Pămîntului, Newton s-a hotărît să compare căderea unei pietre (sau a unui măr), pe suprafaţa Pămîntului, cu mişcarea Lunii, care poate fi considerată şi ca o cădere fără sfîrşit, conform ideii de mai înainte. În felul acesta, Newton a putut să compare forţa „astronomică" ce acţionează asupra Lunii cu forţa terestră care acţionează asupra obiectelor pe care le avem la îndemînă în viaţa de toate zilele.

Demonstraţia sa, într-o formă modificată, este reprezentată în fig III-3, care arată cum se roteşte Luna, *M*, în jurul Pămîntului, *E*, pe o orbită aproape circulară. La poziţia *M* Luna are o anumită viteză, care e perpendiculară pe raza cercului.

Dacă nu ar exista forţe, Luna ar continua să se mişte pe o linie dreaptă şi după o unitate de interval de timp s-ar afla în poziţia *M'*. Deoarece ea ajunge totuşi în poziţia *M"* săgeata M'M" poate fi considerată ca fiind drumul străbătut de Lună, în unitatea de timp, în *căderea ei liberă*

către Pămînt. Conform teoremei lui Pitagora: $M'M'' = \sqrt{(EM)^2 + (MM')^2} - EM$ (deoarece $EM'' = EM$), ceea ce poate fi arătat pe cale algebrică că este pentru $MM' \ll EM$ aproape egal cu $\frac{(MM')^2}{2EM}$ sau $\frac{1}{2}\left(\frac{MM'}{EM}\right)^2 \times EM$ unde $\frac{MM'}{EM}$ este aparent *viteza unghiulară* a Lunii în mişcarea sa în jurul Pămîntului, adică variaţia poziţiei unghiulare a Lunii pe orbită, în decurs de o secundă. Deoarece Luna descrie un cerc complet într-un interval de timp de o lună, viteza unghiulară este 2π împărţită la intervalul de timp de o lună exprimat în secunde şi este de $2{,}66\ 10^{-6}$. Dar, din discuţia purtată asupra mişcării accelerate, am văzut că distanţa acoperită în prima secundă este egală cu jumătate dintr-o cantitate cunoscută sub numele de „acceleraţie", de unde tragem concluzia că acceleraţia datorată unei forţe care ţine Luna pe orbita ei circulară este $(MM'/EM)^2 \times EM$. Utilizînd valoarea dată mai sus, a vitezei unghiulare, şi substituind distanţa pînă la Lună ca fiind de 384 400 km sau $3{,}844 \times 10^{10}$ cm, Newton a obţinut, pentru acceleraţia datorată gravitaţiei la distanţa Lunii, valoarea 0,27 cm/s^2, care e mult mai mică decît acceleraţia gravitaţiei la suprafaţa Pămîntului (981 cm/s^2). Există totuşi o corelaţie foarte simplă între aceste două cantităţi, pe de o parte, şi distanţele de la Lună, şi de la locul unde cade un măr pînă la centrul Pămîntului pe de alta. Raportul 981 la 0,27 este 3 640 fiind exact pătratul numărului care reprezintă raportul dintre raza orbitei Lunii şi raza Pămîntului. De aici a ajuns Newton la rezultatul *că forţele gravitaţiei terestre descresc invers proporţional cu pătratul distanţei la centrul Pămîntului.*

Generalizînd acest lucru la tote corpurile materiale din univers, el a formulat legea universală a gravitaţiei după care: *toate corpurile materiale se atrag unul pe altul cu o forţă direct proporţională cu masa lor şi invers proporţională cu pătratele distanţelor dintre ele.* Aplicînd această lege la mişcarea planetelor în jurul Soarelui, el a dedus matematic cele trei legi ale lui Kepler, descrise în capitolul anterior.

Dezvoltarea operei lui Newton de către marii matematicieni ai secolelor XVIII şi XIX a dus la naşterea unei mari ramuri a astronomiei cunoscută sub numele de „mecanică cerească", care ne permite să calculăm cu mare precizie

mişcarea planetelor sistemului solar sub acţiunea forţelor mutuale gravitaţionale de atracţie. Unul dintre marile triumfuri ale mecanicii cereşti a fost descoperirea, în 1846, a noii planete Neptun, existenţa şi orbita căreia fuseseră prezise, în mod independent, de astronomul francez U.J.J. Leverrier şi de astronomul englez J.C. Adams, pe baza perturbaţiilor în mişcarea planetei Uranus, provocate de atracţia gravitaţională a planetei pe atunci încă necunoscute. Un eveniment similar a avut loc în 1930, cînd o planetă transneptuniană (cu orbita mai mare decît cea a lui Neptun), care a primit ulterior numele de Pluton, a fost descoperită ca urmare a unor calcule teoretice.

Aplicînd legea descoperită de el, la mişcarea globului terestru, Newton a fost primul care a dat explicaţia fenomenului de „precesie a echinocţiilor", cunoscut încă de pe vremea lui Plutarh.

El a arătat că, deoarece axa de rotaţie a Pămîntului este înclinată faţă de planul orbitei (ecliptică), forţele gravitaţionale ale Soarelui, acţionînd asupra proeminenţei ecuatoriale a Pămîntului trebuie să dea naştere la o uşoară rotaţie a axei Pămîntului în jurul unei linii verticale faţă de ecliptică cu o perioadă de aproximativ 26 000 ani (fig. III-4). Această explicaţie a întîlnit o puternică opoziţie din partea astronomilor contemporani lui, deoarece pînă atunci se crezuse, pe baza unor măsurători eronate, că Pămîntul nostru nu are forma unui dovleac, fiind mai larg la ecuator, ci mai degrabă a unui pepene verde, cu distanţa între poli mai mare decît diametrul ecuatorial.

Pentru a stabili care are dreptate, matematicianul francez P.L.M. de Maupertuis a organizat o expediţie în Laponia, avînd ca scop măsurarea lungimii unui grad de meridian la latitudine nordică; şi acolo a trecut printr-o serie de peripeţii cu o haită de lupi. Măsurătoarea sa a arătat că punctul de vedere al lui Newton era corect, iar Voltaire i-a scris în glumă:

Vous avez confirmé dans les lieux pleins d'ennui
*Ce que Newton connût sans sortir de chez lui**.

* Aţi confirmat în locuri pline de temeri şi plictis
Ceea ce Newton ştia fără a mai ieşi din casă. Din l. fr. — *N.T.*

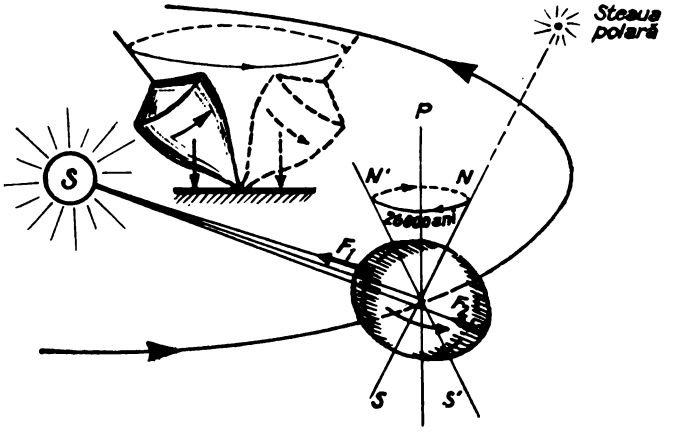


FIG. III—4 Explicația dată de Newton pentru precesia axei de rotație a Pămîntului. Deoarece forța gravitației descreşte cu distanța, forța F_1 care acționează asupra curburii ecuatoriale dinspre Soare este mai mare decît forța F_2 care acționează asupra părții ecuatorului aflată în partea opusă. De aceea, cele două forțe combinate tind să acționeze ca o „forță de îndreptare" pe axa de rotație a Pămîntului, adică să îl facă să stea perpendicular pe planul orbitei. Situația este similară cu aceea a unui titirez care se învîrteşte cu axa înclinată, la care forța gravitației, adică greutatea lui, tinde să-i aducă axa la o poziție orizontală. Şi aşa cum nici titirezul nu cade cîtă vreme se învîrteşte, iar axa lui descrie o suprafață conică în jurul verticalei, tot aşa şi axa Pămîntului nu devine perpendiculară pe orbită, ci descrie o suprafață conică în jurul acestei direcții.

Cam în acelaşi loc, Newton explică fenomenul mareelor oceanului ca fiind datorate forței de atracție gravitaționale inegal exercitate de către Soare asupra emisferelor terestre care se rotesc împreună şi la distanță de el (fig. III-5).

Cele 626 de pagini ale *Principiilor* lui Newton sînt pline de informații din toate domeniile dinamicii solidelor sau lichidelor, dar noi ne vom opri doar la una dintre probleme, mai simplă şi mai amuzantă. Ea se referă la mişcarea proiectilelor aruncate sau trase cu o anumită viteză inițială printr-un mediu rezistent, ca aerul sau apa. Cît de departe se vor mişca înainte de a ajunge în repaus?

Situația e arătată grafic în fig. III-6, în care un proiectil tras dintr-un tun se mişcă prin aer sau prin apă, după caz. În timpul cît se mişcă prin mediul respectiv, proiectilul

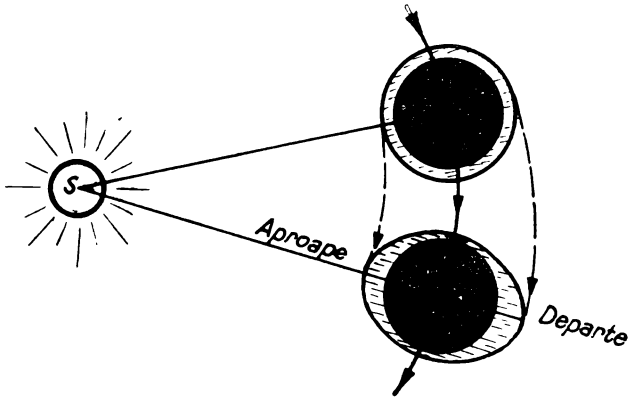


FIG. III—5 Explicaţia dată de Newton pentru mareele oceanului. Deoarece forţa gravitaţiei descreşte cu distanţa faţă de Soare, forţa care acţionează asupra apei oceanului, în partea în care e zi pe Pămînt, este întrucîtva mai mare decît forţa care acţionează asupra uscatului. Similar, forţa gravitaţiei care acţionează asupra apei oceanului noaptea este mai mică decît forţa care acţionează asupra uscatului. Ca rezultat al acestor diferenţe, suprafaţa apei, în partea cu zi a Pămîntului, are tendinţa să se ridice peste suprafaţa oceanului, pe cînd în partea cu noapte a Pămîntului suprafaţa oceanului. este, ca să spunem aşa, „trasă sub" suprafaţa oceanului. Ambele efecte contribuie la formarea a două creste (fluxuri) de apă care, în conjuncţie cu rotaţia Pămîntului în jurul axei sale, se observă ca două unde de flux şi reflux ce aleargă în jurul Pămîntului cu perioada de 24 de ore.

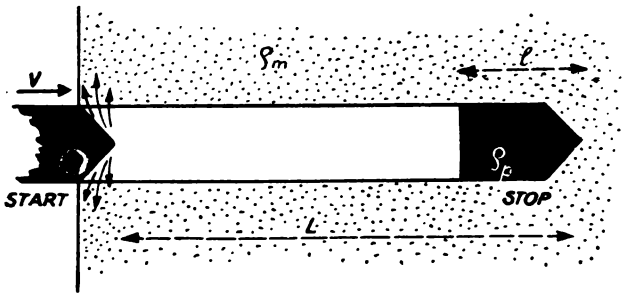


FIG. III—6 Teoria lui Newton asupra pătrunderii proiectilelor într-un mediu.

împinge în lături acel mediu pentru a perfora un tunel şi astfel înaintează. La viteze mari, forţele de frecare sînt relativ de mică importanţă şi principala pierdere de energie a proiectilului se datoreşte necesităţii de a comunica viteze mari mediului care este împins în lături. E uşor de constatat că această viteză laterală a mediului este aproximativ aceeaşi ca şi viteza proiectilului care avansează. Astfel, proiectilul se va opri cînd *masa mediului* antrenat în mişcare este de acelaşi ordin de mărime cu masa proiectilului. De aici tragem concluzia că lungimea tunetului (L) trebuie să stea în acelaşi raport cu lungimea proiectilului (l) ca şi densitatea proiectilului (ρ_p) faţă de densitatea mediului (ρ_m).

$$\frac{L}{l} = \frac{\rho_p}{\rho_m} \quad \text{(aproximativ)},$$

ceea ce, desigur, este numai foarte aproximativ adevărat. Dar chiar şi aşa, putem obţine de aici mai multe rezultate interesante. Dacă tragem un proiectil de oţel (cu densitatea aproximativ de 10 ori mai mare decît a apei) prin aer (cu densitatea de aproximativ 1 000 de ori mai mică decît a apei), se aşteaptă ca proiectilul să se oprească la o distanţă de aproximativ 10 000 de ori lungimea sa (dacă nu cade la pămînt înainte de a fi străbătut această distanţă). Astfel, marile proiectile de artilerie navală, care pot avea o lungime de 5 picioare sau mai mult, se aşteaptă să străbată o distanţă de aproximativ 50 000 picioare sau mai mult de 10 mile. Pe de altă parte, un glonţ de 1/2 inch lungime cu greu poate parcurge mai mult de 400 de picioare. În apă, care este de numai 10 ori mai puţin densă decît metalul, un glonţ va pierde cea mai mare parte a energiei sale după ce a străbătut o distanţă de numai 10 ori lungimea sa; pentru acelaşi motiv, la vînătoarea sub apă se folosesc săgeţi lungi de metal. E interesant că lungimea penetrării nu depinde de viteza iniţială a proiectilului (dacă această viteză este suficient de mare). Acest lucru i-a derutat pe experţii militari din S.U.A. care, aruncînd de la diferite înălţimi proiectile explozibile, presupuneau că acestea intră adînc în pămînt înainte de a exploda. Penetrarea se părea că nu variază cu înălţimea de la care erau aruncate proiectilele (şi

atingînd astfel pămîntul cu diferite viteze), iar experţii şi-au bătut mult capul pînă cînd cineva le-a spus că există o teorie asupra acestui subiect în *Principiile* lui Newton.

STATICA ŞI DINAMICA FLUIDELOR

Studiile lui Sir Isaac asupra echilibrului şi mişcării fluidelor au fost completate şi dezvoltate de către matematicianul francez Blaise Pascal, care avea 19 ani cînd s-a născut Newton şi de către fizicianul elveţian Daniel Bernoulli, care avea 27 de ani în momentul cînd a murit Newton. Legea lui Pascal, care împreună cu legea lui Arhimede formează baza hidrostaticii, afirmă că un fluid (fie el lichid sau gaz) comprimat într-un vas închis exercită o presiune cu o forţă egală pe unitatea de suprafaţă în orice parte a peretelui. Principiul lui Pascal şi-a găsit o largă aplicaţie la construcţia diferitelor prese hidraulice. De fapt, dacă avem doi cilindri *A* şi *B* (fig. III-7) cu diametre diferite, legaţi între ei printr-un tub subţire şi prevăzuţi cu pistoane mobile, forţa totală care acţionează asupra pistonului din cilindrul mai larg va fi mai mare decît cea care acţionează asupra pistonului din cilindrul îngust, iar raportul celor două forţe va fi egal cu raportul dintre suprafeţele pistoanelor. În felul acesta, o forţă comparativ mică, aplicată manual asupra pistonului din cilindrul îngust, face să apară o forţă mult mai mare, care acţionează asupra pistonului din cilindrul mare şi poate să ridice o trăsură. E de remarcat faptul că deplasarea pistonului în tubul larg va fi proporţional mai mică decît deplasarea pistonului în tubul îngust.

Legea sau principiul lui Bernoulli, cum se numeşte adesea, se referă la mişcarea fluidului prin tuburi de diferite diametre şi pare, la prima vedere, să contrazică bunul-simţ. Să ne închipuim un tub orizontal care se îngustează într-un anumit loc, apoi iar se lărgeşte (fig. III-8*a*). Dacă apa curge prin tub, presiunea ei în diferite secţiuni poate fi măsurată cu ajutorul înălţimii coloanei de apă din tuburile verticale ataşate în diferite locuri pe tubul orizontal. S-ar părea, la prima vedere, că presiunea va fi mai mare în secţiunea îngustă a tubului, deoarece apa trebuie să se „comprime" prin ea. Experienţa arată însă că situaţia este exact opusă şi că presiunea apei, în porţiunea îngustă, este mai mică

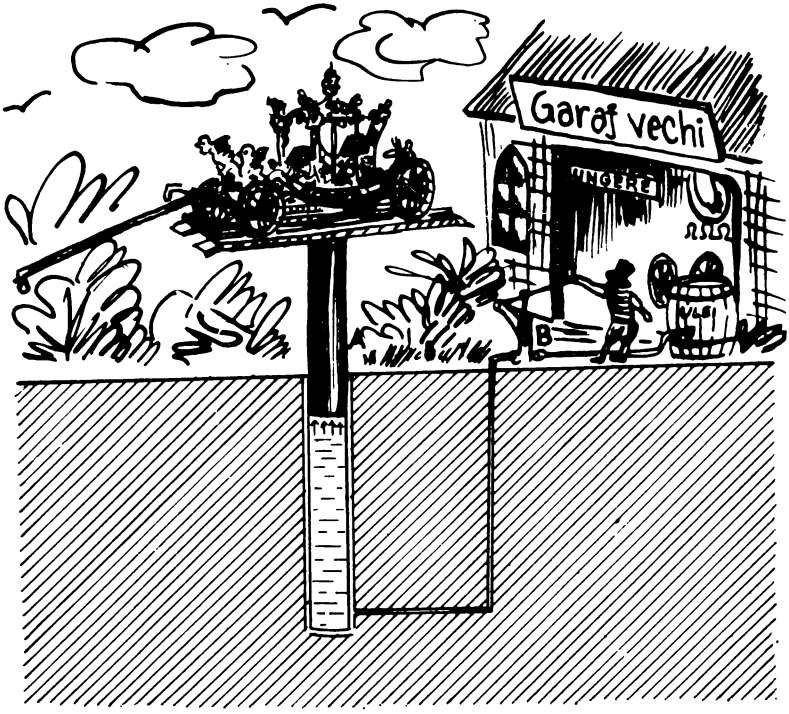


FIG. III—7 Conform principiului lui Pascal, o forță aplicată manual poate ridica o trăsură grea.

decît în cea largă. Explicația poate fi obținută considerînd schimbarea vitezei de curgere în diferite secțiuni ale tubului. În secțiunea largă, apa se mișcă comparativ încet și este accelerată cînd intră în porțiunea îngustă. Pentru a accelera mișcarea apei e nevoie de o *forță* care să acționeze în acea direcție și singura forță la care ne putem gîndi este *diferența de presiune* între partea largă și partea îngustă. Deoarece viteza apei crește cînd ea intră în tubul îngust, forța trebuie să acționeze în direcția curgerii, presiunea în tubul larg trebuind să fie mai mare decît în tubul îngust.

Se poate demonstra simplu acest lucru, fără să ne folosim de tuburi, luînd o bucată de țeavă de sticlă (eventual chiar

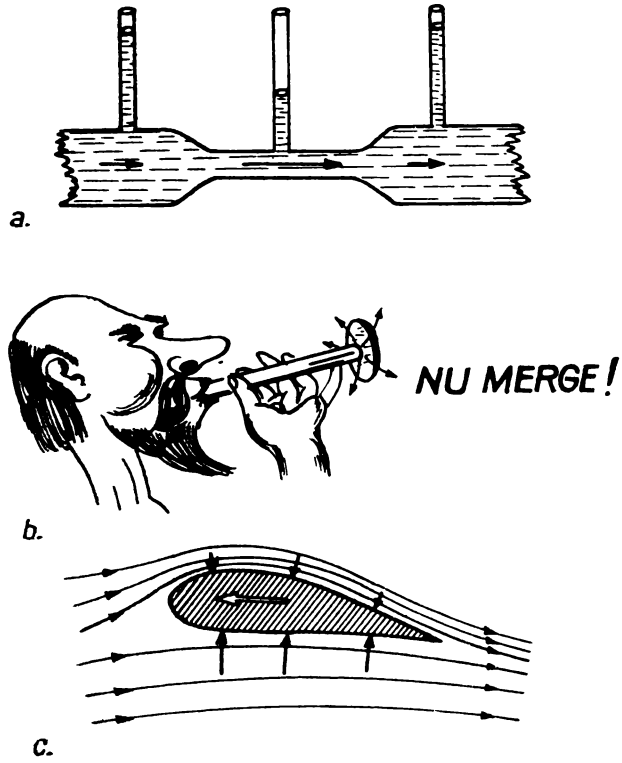


FIG. III—8 Principiul lui Bernoulli: *a* — o simplă demonstrare; *b* — tubul cu şiretlic; *c* — cum funcţionează aripa avionului.

un portţigaret), o bucată de carton în formă de disc şi un cui (fig. III-8*b*). Trecem cuiul prin centrul discului şi îl introducem în tub, aşa cum se arată în figură, astfel încît greutatea discului să se sprijine pe marginile tubului. Dacă suflăm prin celălalt capăt al tubului, ne-am aştepta ca discul să fie uşor suflat în afară. Încercaţi şi veţi vedea că lucrurile nu se petrec astfel şi că cu cît suflăm mai tare cu atît va fi discul mai presat spre capătul tubului. Explicaţia se bazează pe principiul lui Bernoulli. Aerul suflat prin tub trebuie să scape prin fanta circulară şi îngustă dintre capătul tubului şi cartonul care îl presează. Această trecere este mai îngustă

decît tubul însuşi, astfel încît aici presiunea aerului este mai mică decît presiunea atmosferică. În felul acesta, presiunea aerului din afară împinge discul către capătul tubului.

Efectul lui Bernoulli explică, de asemenea, forţele care susţin aripile unui avion în zbor. Aşa cum se vede în fig. III-8c profilul aripii este astfel, încît distanţa de la punctul din faţă la cel din spate este mai mare cînd aerul se mişcă pe deasupra aripii decît atunci cînd se mişcă pe sub ea. În consecinţă, masele de aer care se mişcă pe deasupra aripii au viteză mai mare şi după Bernoulli, presiune mai mică decît masele de aer care se mişcă sub aripă. Diferenţa între aceste două presiuni acţionează pentru ridicarea avionului.

OPTICA

Ar trebui să ne oprim aici cu discuţiile asupra mecanicii lui Newton, ca să mai lăsăm ceva loc pentru discutarea opticii sale. În acest domeniu, principala contribuţie a lui Newton constă în studiile sale asupra culorilor şi proba de bază care demonstrează că lumina albă este un amestec de raze de diferite culori, de la roşu la violet. Studiile de optică ale lui Newton preced lucrările sale de mecanică descrise în *Principii*. La vîrsta de 23 de ani, el a luat o prismă de sticlă „pentru a încerca cu aceasta fenomenul de culoare", şi probabil că toate descoperirile sale fundamentale în acest domeniu datează din această perioadă a vieţii sale. Însă prin februarie 1692, lăsînd o lumînare aprinsă în cameră, au fost distruse valoroasele sale hîrtii, inclusiv o mare lucrare de optică, ce conţinea experienţe şi cercetări făcute în decurs de douăzeci de ani. De aceea, prima ediţie a lucrării sale *Optica* apare abia în 1704, şi nu ne-am mira dacă această întîrziere s-ar datora mai degrabă focului şi nu dezinteresului savantului de a-şi publica ideile în faţa opoziţiei încăpăţînatului său adversar, Robert Hooke, care a murit exact cu un an înainte ca Newton să-şi fi trimis la tipar *Optica* sau *Tratat despre reflexii, refracţii, inflexii şi culori ale luminii*.

La începutul cărţii, el descrie un experiment simplu care arată că lumina de diferite culori are diferite *refractivităţi*.

Pentru a verifica lucrul acesta, el a luat o bucată de carton pe o jumătate vopsit în roşu aprins, iar pe cealaltă în albastru,

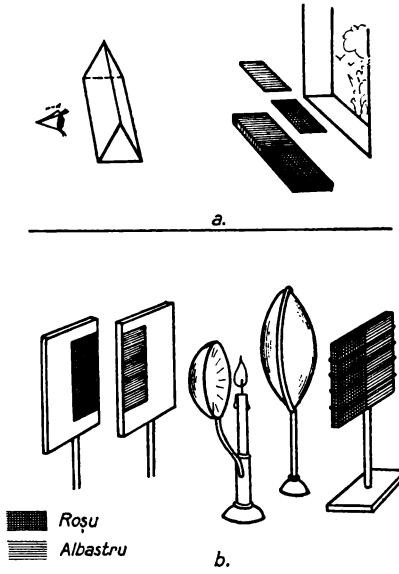


FIG. III—9 Experienţele lui Newton asupra refracţiei luminii.

şi aşezînd-o lîngă o fereastră a început s-o privească printr-o prismă de sticlă (fig. III-9*a*). Newton a observat că „dacă unghiul de refracţie al prismei era îndreptat în sus, atunci prin refracţie, cartonul părea că este înălţat şi jumătatea lui albastră era înălţată, prin refracţie, mai sus decît jumătatea roşie. Dacă unghiul de refracţie al prismei era îndreptat în jos, prin refracţie cartonul părea coborît în jos şi partea lui albastră era coborîtă mai jos decît cea roşie". Pe baza acestei experienţe el a tras concluzia că lumina albastră este refractată mai puternic decît lumina roşie şi a conchis că o lentilă ar trebui să focalizeze razele albastră şi roşie la distanţe diferite. Pentru a verifica această concluzie, el a luat o bucată de hîrtie colorată într-o parte cu albastru şi într-alta cu roşu, pe care a luminat-o cu o lumînare („deoarece experienţa era efectuată în întuneric") şi, utilizînd şi o lentilă, a încercat să focalizeze imaginea pe o altă bucată de hîrtie (fig. III-9*b*). Pentru a putea observa mai bine finеţea focalizării, el a întins mai multe fire negre de-a lungul

hîrtiei colorate şi aşa cum se-aştepta, nu a reuşit să focalizeze ambele părţi colorate, simultan. „Notînd cît am putut mai atent locurile în care jumătăţile roşie şi albastră ale hîrtiei colorate apăreau cel mai distinct, am găsit, că, în timp ce jumătatea roşie a hîrtiei apărea clară, jumătatea albastră era confuză, astfel încît aţele negre de pe ea abia puteau fi văzute şi, dimpotrivă, cînd jumătatea albastră era clară, jumătatea roşie era confuză, astfel încît liniile negre de pe ea abia se vedeau". Şi aşa cum era de aşteptat, imaginea părţii albastre a hîrtiei era focalizată la o distanţă mai mică decît cea roşie.

Următoarea experienţă voia să demonstreze ce se întîmplă cînd printr-o prismă trece o rază de soare. Făcînd o mică gaură în storurile de la fereastră, Newton a aşezat o prismă în calea îngustului fascicul de lumină, făcîndu-l să treacă prin ea, şi ceva mai în spate să cadă pe un ecran. În locul unei imagini circulare (camera obscură) a Soarelui pe ecran, aşa cum se întîmpla în lipsa prismei, el a observat o imagine alungită care părea să fie colorată uşor în albastru în partea din sus şi uşor în roşu la partea de jos. Aceasta l-a condus la ideea că lumina albă a Soarelui trebuie să fie compusă din raze de diferite culori: de la raza albastră, cea mai refringentă, pînă la roşu, mai puţin refringent. Dacă este aşa, imaginea alungită de pe ecran ar trebui să fie formată din mai multe imagini suprapuse ale Soarelui, în diferite culori şi numai cele de la extreme ar fi curat albastră şi curat roşie. Pentru a elimina suprapunerea imaginilor pe ecran, el a introdus în fasciculul de lumină o lentilă care să focalizeze pe ecran imaginea găurii făcute în stor, şi a observat, cu satisfacţie, o bandă verticală colorată în culori vii (fig. III-10): roşu, portocaliu, galben, verde, albastru şi violet cu toate nuanţele intermediare. Acesta a fost primul „spectroscop" şi prima verificare a faptului că lumina albă este compusă din raze de diferite culori care posedă diferite refractivităţi.

Pentru cititorul de azi experienţele lui Newton cu prisma pot părea foarte puerile, deoarece, desigur, fiecare copil poate să le realizeze cu uşurinţă. Dar pe atunci era cu totul altfel, deoarece se credea, în general, că culoarea luminii albe a soarelui, care trecea prin minunatele vitralii ale vechilor catedrale, este oarecum asemănătoare colorării veşmintelor albe prin cufundarea lor în soluţii de diferite culori.

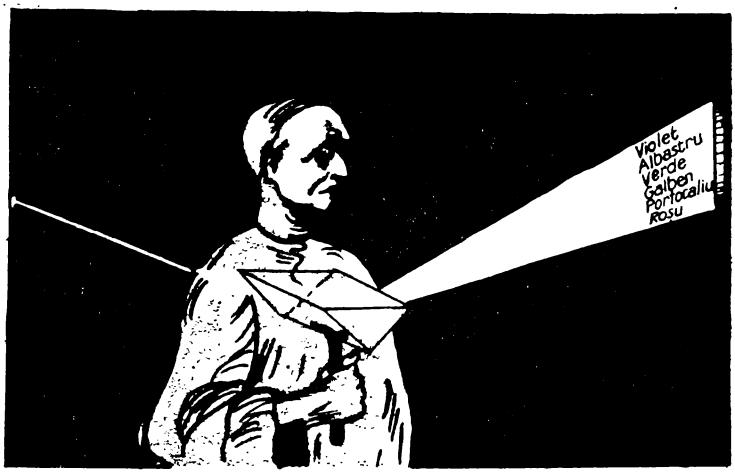


FIG. III—10 Sir Isaac Newton demonstrînd descompunerea luminii albe în culorile spectrului.

Astăzi ştim că retina ochiului omenesc conţine trei feluri de celule nervoase sensibile la culori: pentru lumină roşie, verde şi albastră. Cînd sînt prezente toate culorile spectrale în aceeaşi proporţie ca şi în lumina solară, sub influenţa căreia s-a dezvoltat şi organul nostru de vedere timp de sute de milioane de ani de evoluţie organică, obţinem senzaţia de lumină „ordinară" sau „albă", cum se numeşte de fapt, iar cînd e prezent numai o parte din spectru, avem senzaţia diverselor culori.

Una dintre importantele aplicaţii ale descoperirii lui Newton, referitoare la faptul că razele de diferite culori se refractă diferit, a fost teoria lui asupra curcubeului. Această minunată expunere de culori apare pe cer în timp ce Soarele străluceşte într-o parte, iar în partea opusă este acoperit cu nori grei de ploaie. Conform explicaţiei lui Newton, ceea ce vedem în cazul acesta sînt razele Soarelui reflectate de micile picături de ploaie din nor sau de sub el. Desenul din fig. III-11, adaptat după desenul original al lui Newton din *Optica* lui, arată ce se întîmplă de fapt. Razele de lumină

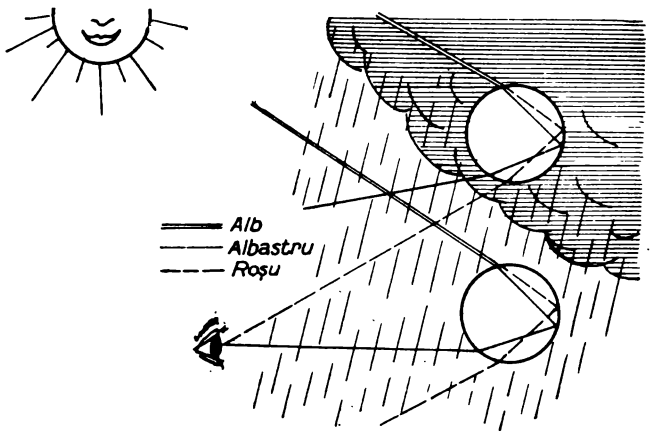


FIG. III—11 Explicaţia dată de Newton culorilor curcubeului.

albă ale Soarelui (arătate prin linii negre pe figură)* cad pe picăturile de apă şi sînt refractate cînd intră în ele. Urmează apoi o reflexie internă şi o a doua refracţie, la ieşirea din picătură. Rezultă un evantai de raze divers colorate la ieşirea din picătură, şi ochiul observatorului care stă pe pămînt, cu spatele la Soare, observă diferitele culori din diferitele direcţii, pe cer. Existenţa mai multor curcubee concentrice se explică pe baza presupunerii că în loc să fie reflectată o singură dată în interiorul picăturii, raza de lumină de la Soare este reflectată de mai multe ori. Am putea menţiona aici şi aşa-numitele „halouri", arcuri colorate care se observă uneori în jurul Soarelui, dar mai ales în jurul Lunii. Spre deosebire de curcubeu, ele se datoresc reflexiei (*nu* refracţiei) luminii de către foarte micile cristale de gheaţă, care formează norii de mari altitudini cunoscuţi în meteorologie sub numele de *cirus*. Arătînd că lumina de diferite culori are diferite refractivităţi, Newton a tras concluzia greşită că

* Motivul pentru care reprezentăm razele albe cu linii negre este că liniile albe nu s-ar vedea pe hîrtia albă. În afară de aceasta, aşa cum vom arăta mai departe în carte, lumina albă e adesea denumită de fizicieni „radiaţia corpului negru" deoarece este emisă în forma ei cea mai pură de către corpurile negre încălzite la alb (de exemplu, carbonul).

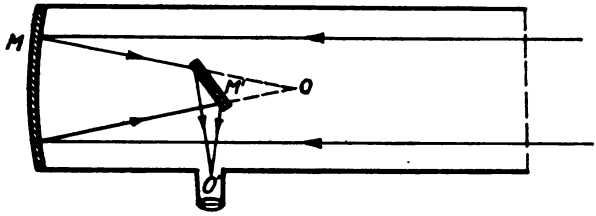


FIG. III—12 Telescopul cu reflexie al lui Newton.

lentilele nu pot realiza focalizarea imaginilor obiectelor, deoarece razele de diferite culori nu pot fi focalizate la aceeaşi distanţă. Aceasta l-a condus la afirmaţia că telescoapele care utilizează lentile, de tipul celui construit de Galilei, nu pot fi perfecţionate sub nici o formă, ci trebuie să fie înlocuite cu telescoape bazate pe reflexia luminii, care este independentă de culoare. Astfel, în anul 1672, el a construit un telescop cu reflexie (sau mai simplu un „reflector") prezentat în fig. III-12. El consta dintr-o oglindă *M*, care forma imaginea obiectului ceresc în punctul *O* din interiorul tubului. Înainte însă ca razele de lumină să fie focalizate în *O* ele erau reflectate de o mică oglindă *M'* plasată pe axa tubului, de unde erau deviate în punctul *O'* dinafara tubului, unde putea fi observată imaginea. Greşeala lui Newton, în acest caz, provenea de la credinţa sa că substanţele transparente diferite refractă diferitele culori în acelaşi fel. Numai după moartea lui s-a descoperit că această presupunere nu e corectă şi că e posibil, de fapt, să focalizezi lumina roşie şi albastră în acelaşi punct, utilizînd lentile compuse, făcute din diferite feluri de sticlă (crown, flint etc.). Cu toate acestea, telescoapele cu reflexie, care utilizează mari oglinzi parabolice în loc de lentile, au multe alte avantaje practice şi am putea spune, printre altele, că două dintre cele mai puternice telescoape astronomice de azi (cel de 100 inches de pe Muntele Wilson şi cel de 200 inches de la Muntele Palomar) sînt reflectoare.

O altă descoperire „pitorească" a lui Newton sînt aşa numitele „inele ale lui Newton", care apar în jurul unui punct de contact, de exemplu, dintre suprafaţa convexă a unei

lentile aşezate pe o placă dreaptă de sticlă. El a descris această descoperire astfel:

„S-a observat de către alţii că substanţele transparente, ca: sticla, apa, aerul etc., cînd sînt făcute foarte subţiri prin suflarea în bule, sau altfel, sub formă de plăci, prezintă diferite culori, în funcţie de grosimea stratului, deşi la grosimi mai mari par a fi foarte clare şi necolorate. Am evitat (la începutul acestei cărţi) să vorbesc despre aceste culori, deoarece ele par să implice consideraţii mai dificile, care nu erau necesare pentru stabilirea proprietăţilor luminii discutate pînă acum. Deoarece însă ele pot conduce la descoperiri ulterioare care să completeze teoria luminii, legate în special de acea parte a structurii corpurilor materiale de care depinde culoarea şi transparenţa lor, voi face în cele ce urmează o succintă prezentare a lor.

Am luat două lentile obiectiv, una plan-convexă pentru un telescop de 14 picioare, iar cealaltă, biconvexă mare pentru unul de 50 de picioare; peste aceasta am aşezat-o pe prima cu partea plană în jos, le-am presat uşor pentru a face ca, succesiv, să apară culorile în mijloc sub formă de cercuri, apoi am ridicat uşor lentila de sus şi culorile au dispărut. Culoarea, care prin presarea lentilelor apare ultima în mijlocul altor culori, ar trebui după apariţie, să arate ca un cerc de o culoare aproape uniformă de la circumferinţă spre centru şi compresînd mai departe lentilele, devine mai mare pînă cînd apare o nouă culoare din centru şi se transformă într-un inel care înconjură noua culoare. Comprimînd în continuare lentilele, diametrul acestui inel creşte mai departe, deşi lăţimea sa scade şi o altă culoare apare din centru, şi aşa pînă ce, în cele din urmă, iese o a treia, o a patra, o a cincea şi alte noi culori succesive, din centru şi devin inele care înconjură culorile din interior, cel din centru devenind atunci un punct negru. Din contra, prin ridicarea lentilei superioare diametrele inelelor vor scădea şi lăţimea lor va creşte pînă cînd culorile vor ajunge în centru şi acolo, avînd o lăţime mai mare, aş fi putut să le deosebesc mai uşor natura decît înainte. Şi astfel am observat care erau succesiunea şi cantitatea lor.

Imediat după pata clară din centru, obţinută prin contactul lentilelor, urmează albastru, alb, galben şi roşu. Albastru era atît de puţin, încît nu puteam să-l disting în cercurile formate de prisme, şi nu puteam să observ nici culoarea violetă în interior, galbenul şi roşul, în schimb, erau destul de mult, ca de altfel şi albul, de patru sau de cinci ori mai mult decît culoarea albastră. Următoarea succesiune, în ordinea imediată a culorilor care le înconjurau, era: violet, albastru, verde, gal-

ben şi roşu; toate erau din abundenţă şi vii, cu excepţia verdelui, care era într-o cantitate mai mică şi părea mai stins şi mai diluat decît celelalte culori. Din celelalte patru culori violetul era cel mai puţin extins, iar albastrul, în cantitate mai mică decît galbenul şi roşul. Cel de al treilea circuit sau ordin îl constituiau: violetul, albastrul, verdele, galbenul şi roşul; aici violetul era mult mai roşiatic decît violetul din circuitul anterior, iar verdele era mai evident, fiind mai viu şi mai abundent decît celelalte culori, cu excepţia galbenului; roşul însă părea să fie mai stins, tinzînd spre violet-purpuriu. După aceasta urma circuitul al patrulea, al verdelui şi al roşului. Verdele era abudent şi aprins, tinzînd spre albastru, de o parte şi spre galben, de cealaltă parte. În acest al patrulea circuit nu exista însă nici violet şi nici albastru sau galben, iar roşul era imperfect şi murdar. De asemenea, succesiunea culorilor apărea din ce în ce mai diluată şi mai imperfectă, iar după trei sau patru cercuri se contopeau într-un alb perfect."

Planşa *I (sus)* reprezintă fotografia inelelor lui Newton obţinute cu lumină monocromatică, o singură lungime de undă.

Măsurînd raza primelor şase inele (în partea lor cea mai strălucitoare), Newton a găsit că pătratele lor formează o progresie aritmetică a numerelor impare: 1, 3, 5, 7, 9, 11. Pe de altă parte, pătratele razelor inelelor negre formează progresia numerelor pare: 2, 4, 6, 8, 10, 12. Situaţia este prezentată în fig. III-13, care reprezintă o secţiune transversală prin suprafeţele lentilelor convexă şi plană, în punctul de contact. Pe axa orizontală sînt date distanţele, reprezentate prin rădăcinile pătrate ale numerelor întregi: $\sqrt{1} = 1$; $\sqrt{2} = 1{,}41$; $\sqrt{3} = 1{,}73$; $\sqrt{4} = 2$; $\sqrt{5} = 2{,}24$ etc., la care Newton a observat, alternativ, maxime şi mi-

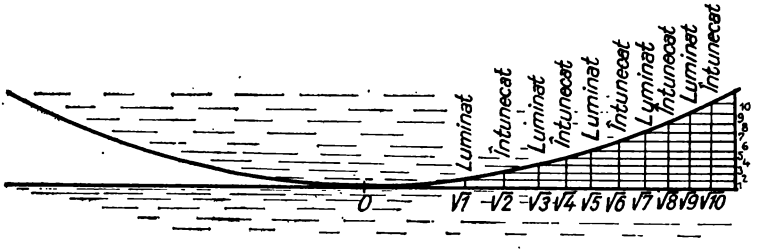


FIG. III—13 Formarea inelelor lui Newton.

nime de lumină. Ar fi de menţionat, după figură, şi acest lucru poate fi verificat matematic, că distanţele pe verticală între cele două suprafeţe ale lentilelor cresc în progresie aritmetică simplă: 1, 2, 3, 4, 5, 6 etc. Cunoscînd raza lentilei convexe, Newton a putut să calculeze uşor grosimea stratului de aer în locurile unde apăreau inelele luminoase şi întunecate. El scria:

... $\frac{1}{89\,000}$ dintr-un inch este grosimea aerului la partea cea mai întunecată a primului inel negru, luată pe verticală; jumătate din această grosime, inmulţită cu progresia 1, 3, 5, 7, 9, 11 etc., dă grosimea aerului în părţile cele mai strălucitoare ale tuturor inelelor luminoase adică: $\frac{1}{178\,000}$, $\frac{3}{178\,000}$, $\frac{5}{178\,000}$, $\frac{7}{178\,000}$ etc., media lor aritmetică: $\frac{2}{178\,000}$, $\frac{4}{178\,000}$, $\frac{6}{178\,000}$ etc. fiind grosimile aerului în punctele cele mai negre ale părţilor întunecate.

Contrar afirmaţiei lui Newton, citată mai sus, după care culorile curcubeului din stratele subţiri „nu sînt necesare pentru stabilirea proprietăţilor luminii", inelele lui Newton reprezintă una dintre cele mai bune dovezi în favoarea naturii ondulatorii a luminii, adevăr pe care Newton nu a vrut să-l recunoască pînă la moarte. Inelele sînt rezultatul aşa-numitei „interferenţe" între două raze de lumină reflectate de cele două suprafeţe de sticlă care sînt separate de diferite distanţe. Cînd o rază îngustă de lumină cade, venind de sus, pe marginea dintre sticla lentilei superioare şi stratul de aer dintre cele două lentile, o parte din ea este reflectată, în timp ce restul pătrunde în aer. O a doua reflexie parţială are loc cînd raza intră în lentila de jos şi cele două raze reflectate ajung împreună la ochiul observatorului. Ceea ce se întîmplă în acest caz este ilustrat grafic în fig. III. 14. Pentru comoditate, undele sînt reprezentate prin benzi umbrite şi albe corespunzînd crestelor şi văilor (maximelor şi minimelor). De asemenea, razele de lumină nu sînt trasate perpendicular pe interfaţă pentru a evita suprapunerile. De altfel, chiar aceasta este situaţia în cazul de faţă, deoarece sursa de lumină şi capul observatorului nu pot să se afle pe aceeaşi linie. În fig. III-14*a* vedem ce se întîmplă cînd grosimea stratului de aer este egală cu jumătate din lungimea de

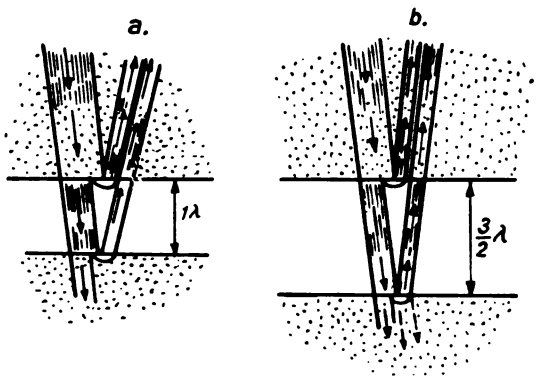


FIG. III—14 Explicaţia dată de Young inelelor lui Newton.

undă a luminii incidente (pe figură lungimea de undă corespunde lungimii unei benzi albe şi a uneia haşurate) luate împreună. În acest caz, undele reflectate de suprafaţa lentilei de jos se combină cu undele reflectate de cea de sus în aşa fel, încît creasta primei unde coincide cu valea celei de a doua şi invers. Dacă undele au aceeaşi intensitate, ele se vor anula reciproc, altfel, intensitatea va fi redusă foarte mult. În fig. III-14 *b* avem cazul în care grosimea de aer este egală cu jumătate (sau 2/4) din lungimea de undă. Atunci cele două raze reflectate se propagă creastă cu creastă şi vale cu vale şi avem o creştere a intensităţii. În fig. III-14*b* stratul de aer are o grosime de 3/4 din lungimea de undă şi situaţia e similară cu cea din fig. III-14 *a*. Pentru grosimi mai mari ale stratului de aer, avem alternativ lumină şi umbră, la fiecare creştere cu 1/4 din lungimea de undă. În cazul aranjamentului lui Newton, grosimile cresc continuu, de la punctul de contact înspre exterior, astfel încît se observă inelele alternativ întunecate şi luminate. Deoarece lumina de diferite culori corespunde la diferite lungimi de undă, razele diferitelor inele colorate vor fi oarecum diferite şi noi vom observa inelele în formă de curcubeu aşa cum a făcut şi Newton. Utilizînd cifrele lui Newton date mai sus cu grosimile straturilor de aer respective găsim că lungimea de undă a luminii care dă naştere inelelor cu astfel de raze trebuie să

fie $\frac{4}{178\,000}$ inch sau $0{,}58 \times 10^{-4}$ cm. Aşa după cum ştim azi, aceasta este chiar lungimea de undă pentru lumina galbenă, cea mai strălucitoare parte a spectrului vizibil. Cu toate acestea, Newton s-a opus cu violenţă teoriei ondulatorii a luminii, mai mult din cauză că nu putea să-şi închipuie cum ar fi posibil să explici propagarea rectilinie a razelor de lumină. El a susţinut că lumina trebuie să fie un flux de particule care se deplasează cu o mare viteză prin spaţiu. Astfel, pentru a explica apariţia inelelor de interferenţă, el a inventat o teorie complicată a „adaptării la o reflexie şi transmisie uşoară" după care:

„... fiecare rază de lumină, la trecerea ei printr-o suprafaţă refractantă, trece printr-o anumită constituţie sau stare tranzitorie care, pe parcursul razei, revine la intervale egale, şi predispune raza ca la fiecare întoarcere (reflexie) să fie transmisă cu uşurinţă prin următoarea suprafaţă refractantă, iar între întoarceri să fie reflectată cu uşurinţă de către aceasta".

„Lungimea de potrivire" a lui Newton corespunde, evident, cu ceea ce numim astăzi „lungime de undă" şi el a conchis că această „lungime de potrivire" este mai mare pentru lumina roşie şi mai scurtă pentru cea albastră. Cu toate acestea, el scria:

„Ce fel de acţiune sau dispunere este aceasta, dacă constă dintr-o mişcare circulară sau vibraţională a razei, sau a mediului, sau a altcuiva, nu am cercetat aici".

Adversarul lui Newton în discuţiile referitoare la natura luminii şi cel a cărui teorie a învins mai apoi a fost fizicianul olandez Christian Huygens, care era cu 13 ani mai mare decît el.

Motivele pentru care Huygens a preferat să considere lumina sub forma unor unde ce se propagă printr-un anumit mediu universal, care umple întregul spaţiu, în loc să considere un fascicul de particule care se mişcă cu viteză foarte mare, este cel mai bine rezumat într-un pasaj din cartea sa *Tratat despre lumină* publicat în 1690:

Asupra propagării liniare a razelor de lumină

Procedeele de verificare în optică, la fel ca în toate celelalte ştiinţe în care geometria este aplicată materiei, sînt bazate pe adevăruri

deduse din experienţă; de exemplu, faptul că razele de lumină se propagă în linie dreaptă, că unghiul de reflexie este egal cu unghiul de incidenţă şi că refracţia ascultă de regula sinusurilor sînt bine cunoscute azi şi nu mai puţin certe decît altele.

Majoritatea celor care au scris despre diferitele domenii ale opticii s-au bazat pe aceste adevăruri. Iar cei care au cercetat mai mult, s-au străduit să descopere originile şi cauzele lor, deoarece ei le considerau ca fiind nişte efecte minunate, inerente naturii. Deoarece opiniile prezentate, deşi ingenioase, nu sînt de aşa natură încît lumea inteligentă să nu mai aibă nevoie de explicaţii ulterioare, mai complete, aş vrea să prezint aici ideile mele asupra subiectului de faţă, astfel încît să pot contribui cu toată priceperea mea la lămurirea unei părţi a ştiinţei, care nu fără motiv, este considerată a fi una dintre cele mai dificile. Recunosc că sînt foarte îndatorat acelora care au început, primii, să împrăştie strania obscuritate care înconjura aceste lucruri, şi care au trezit speranţa că ele ar putea fi explicate raţional. Dar, pe de altă parte, nu pot să nu fiu surprins constatînd că adesea ei consideră drept concluziile cele mai verificate şi mai sigure pe cele care sînt foarte neîntemeiate; pentru o cunoaştere temeinică, aşa cum o înţeleg eu, pînă acum nimeni nu a dat o explicaţie satisfăcătoare nici chiar primului şi celui mai important fenomen al luminii, şi anume de ce se propagă, cu precizie, în linie dreaptă şi de ce razele de lumină care vin de la infinit din multe direcţii se întretaie fără ca să se stînjenească una pe alta.

De aceea, în această carte voi încerca, în acord cu principiile recunoscute azi de filozofia contemporană, să dau explicaţii mai clare şi motive mai probabile pentru proprietăţile luminii, în primul rînd ale propagării ei rectilinii, şi în al doilea rînd ale reflexiei luminii, cînd aceasta se întîlneşte cu alte corpuri. Apoi voi explica acele fenomene ale razei care, traversînd diferite corpuri transparente, suferă aşa-numita refracţie; şi cu aceasta voi trata, de asemenea, şi efectele refracţiei în aer rezultînd din diferenţele de densitate ale atmosferei.

Voi continua cu investigarea straniei refracţii a luminii de către un cristal special, adus din Islanda. În cele din urmă voi trata despre diferitele forme ale corpurilor transparente şi reflectante, cu ajutorul cărora razele sînt făcute să conveargă într-un punct, sau să fie deviate în cele mai diferite direcţii. Tot aici se va vedea cu cîtă uşurinţă noua noastră teorie va conduce nu numai la descoperirea elipselor, hiperbolelor şi a altor curbe, pe care Descartes le-a sugerat atît de ingenios referitor la acest efect, ci, de asemenea, la acele figuri care se formează pe

una dintre suprafețele sticlei, cînd se știe că cealaltă este sferică, plană, sau de orice altă formă...

Deoarece, conform acestei filozofii, se ia de bun faptul că simțul văzului este numai stimulat prin imprimarea unei anumite mișcări unei substanțe care acționează asupra nervilor din fundul ochilor noștri, acesta e un motiv în plus să credem că lumina este un fel de mișcare a materiei între noi și corpurile luminoase. Dacă, mai departe, observăm și ne gîndim la extraordinara viteză cu care se propagă lumina în toate direcțiile, precum și la faptul că venind din direcții diferite sau chiar opuse, razele se pot interpătrunde fără ca să se stînjenească una pe cealaltă, atunci putem înțelege că vederea unui obiect luminos nu s-ar putea datora transmisiei materiei care ar veni de la obiect, ca de exemplu un proiectil sau o săgeată ce ar zbura prin aer, aceasta contrazicînd cele două proprietăți ale luminii și în special pe cea de a doua. Astfel ea ar putea să fie împrăștiată în diverse feluri și cu siguranță că cunoașterea propagării sunetului prin aer poate să ne conducă la înțelegerea acestei probleme.

Știm că prin aer, care este un corp invizibil și impalpabil, sunetul se împrăștie în tot spațiul care înconjură sursa printr-o mișcare ce înaintează treptat de la o particulă la alta și deoarece propagarea acestei mișcări are loc cu aceeași viteză în toate direcțiile, trebuie să se formeze niște suprafețe sferice care să se deplaseze mai departe, și mai departe, și să ajungă, în cele din urmă, la urechile noastre. Fără îndoială că și lumina ajunge la noi de la corpurile luminoase cu ajutorul unei anumite mișcări care este transmisă materiei înconjurătoare, pentru că noi am văzut, de altfel, că aceasta nu se întîmplă prin deplasarea nici unui corp care ar veni de la ele la noi. Dacă, așa cum am cercetat mai înainte, luminii îi trebuie un timp pentru a se deplasa, urmează că această mișcare transmisă materiei trebuie să fie gradată, și că, la fel ca sunetul, ea trebuie să se desfășoare în suprafețe sferice sau în unde; eu le numesc unde, din cauza asemănării cu undele pe care le vedem cum se formează atunci cînd aruncăm o piatră în apă și din cauză că ne permit să observăm o astfel de deplasare gradată în cercuri, deși sînt datorate unor cauze diferite, formîndu-se numai în suprafețe plane...".

Considerînd propagarea undelor, fie ea pe suprafața apei, în aer, sau în misteriosul „eter universal", purtătorul undelor de lumină, Huygens își baza demonstrațiile pe un principiu simplu, care acum îi poartă numele. Să presupunem — pentru

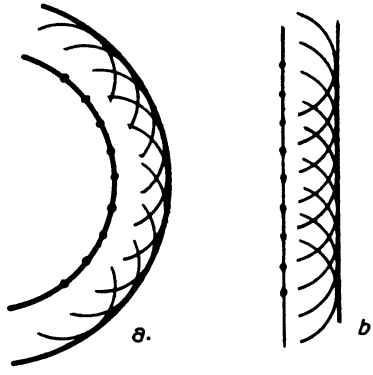


FIG. III—15 Principiul lui Huygens al propagării undelor.

a utiliza cazul cel mai familiar şi mai evident — că aruncăm o piatră într-un lac a cărui suprafaţă e liniştită. Vedem o undă circulară, sau mai degrabă un tren de unde, care se propagă în jurul punctului unde piatra a atins suprafaţa. Dînd poziţia undei la un anumit moment, cum putem găsi poziţia ei după un scurt interval de timp? Conform principiului lui Huygens, *fiecare punct de pe frontul undei care se propagă poate fi considerat ca sursa unei noi unde, iar noua poziţie a frontului de undă este înfăşurătoarea comună a acestor mici unde secundare emise de toate punctele frontului de undă din poziţia anterioară*. Această idee este ilustrată în fig III-15 pentru cazul simplu al undei circulare plane.

Cea mai strălucită aplicare a principiului lui Huygens a fost explicaţia pe care acesta a dat-o refracţiei luminii, prezentată în fig. III-16. Să presupunem că frontul unei unde plane cade, venind din stînga sus, pe suprafaţa de separare dintre aer şi sticlă (sau orice alte două medii). Cînd acest front de undă este în poziţia *aa'* şi atinge interfaţa în punctul *a*, o undă secundară începe să fie emisă în sticlă din acest punct. Cu înaintarea frontului undei în aer, alte unde secundare sînt emise consecutiv din punctele *b c* etc. Desenul corespunde momentului cînd frontul de undă care avansează se alfă în poziţia *dd'* şi unda secundară din sticlă abia a început să fie emisă din punctul *d*. Pentru a

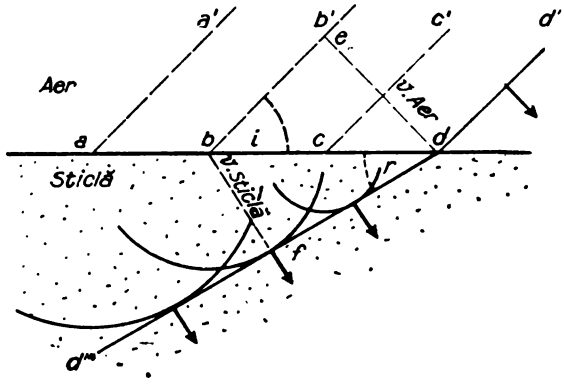


FIG. III—16 Explicația dată de Huygens refracției luminii.

găsi poziția frontului de undă în sticlă, trebuie să trasăm o înfășurătoare peste toate undele secundare care, în acest caz, va fi o linie dreaptă. Dacă, așa cum s-a presupus pe desen, viteza luminii în sticlă este mai mică decît în aer (adică dacă raza undelor sferice secundare din sticlă este mai mică decît distanțele dintre pozițiile succesive ale frontului de undă din aer), frontul de undă din sticlă va fi înclinat în jos și razele refractate vor fi mai aproape de verticală decît cele incidente; aceasta este ceeea ce se întîmplă de fapt, cînd lumina trece din aer în sticlă. Dacă viteza luminii în sticlă ar fi mai mare decît în aer, situația ar fi exact pe dos. Pentru a găsi relația dintre unghiul de incidență i și unghiul de refracție r*, vom considera două triunghiuri dreptunghice bde și bdf care au ipotenuza comună. Conform definiției sinusului:

$$\sin i = \frac{ed}{bd}\ ;\ \sin r = \frac{bf}{bd}$$

Împărțind prima ecuație la cea de a doua obținem:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{ed}{bf} = \frac{v_{aer}}{v_{sticlă}}$$

* Ambele unghiuri pot fi definite fie ca unghiurile dintre direcția razelor și perpendiculara pe suprafața de separare dintre două medii, *sau* ca unghiurile dintre fronturile de undă și această suprafață de separare.

unde v_{aer} și $v_{sticlă}$ sînt vitezele luminii în cele două medii. Aceasta este chiar legea lui Snell, cu adăugarea că raportul celor două sinusuri, cunoscut sub numele de *indice de refracție*, este egal cu raportul vitezelor luminii în cele două medii. Urmează că viteza luminii în medii mai dense (de exemplu, sticla) este mai mică decît medii mai rarefiate (de exemplu, aerul).

Este interesant de notat că teoria corpusculară a lui Newton asupra luminii ne-ar fi condus la concluzii exact contrare. De fapt, pentru a explica frîngerea razelor care intră din aer în apă pe baza teoriei corpusculare ar fi fost necesar să presupunem că există anumite forțe perpendiculare pe interfață care împing particulele de lumină spre interior, cînd acestea străbat suprafața. În acest caz, desigur, viteza din sticlă va fi mai mare decît în aer.

VICTORIA TEORIEI ONDULATORII A LUMINII

În ciuda avantajelor evidente ale teoriei ondulatorii a luminii a lui Huygens asupra teoriei corpusculare a lui Newton, ea nu a fost recunoscută o foarte lungă perioadă de timp. Aceasta s-a datorat în parte marei autorități de care s-a bucurat Newton printre contemporanii săi și în particular și imposibilității lui Huygens de a dezvolta concepțiile sale cu o suficientă precizie matematică pentru a le face invulnerabile împotriva oricărei opoziții. Astfel, problema naturii luminii plutea în aer de un secol, pînă la apariția, în 1800, a unei lucrări scrisă de fizicianul englez Thomas Young, și intitulată *Rezumate asupra experiențelor și cercetărilor referitoare la sunet și lumină*. În acest studiu Young a explicat fenomenul inelelor lui Newton pe baza naturii ondulatorii a luminii și a descris propria sa experiență, în care interferența a două raze de lumină poate fi prezentată într-un mod mai elementar. În această experiență (fig. III-17), el a făcut două orificii, foarte aproape unul de altul, într-un paravan care acoperea fereastra unei camere întunecoase. Cînd orificiile erau suficient de mari, lumina soarelui, care trecea prin ele, forma două pete luminoase pe un ecran situat la o oarecare distanță; însă cînd orificiile erau foarte mici, razele de lumină care treceau prin ele se propagau conform principiului lui Huygens, iar cele două pete

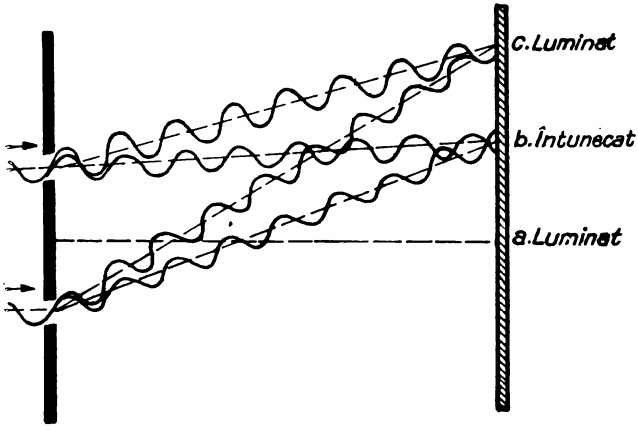


FIG. III—17 Experienţa de interferenţă a lui Young.

erau extinse şi, parţial, suprapuse. În regiunea în care ecranul primea lumina de la ambele orificii, Young a observat o serie de benzi de curcubeu net colorate şi separate de intervale întunecate, cu totul similar inelelor lui Newton. Cînd orificiile din paravan se aflau la distanţă de 1 mm, iar ecranul era aşezat la distanţă de 1 m, benzile aveau o grosime de aproximativ **0,6** mm. Explicaţia acestui fenomen se bazează pe interferenţa undelor luminoase, la fel ca şi în cazul inelelor lui Newton. Punctul *a* de pe ecran, situat exact la jumătatea distanţei dintre centrele celor două imagini, se află la aceeaşi distanţă faţă de cele două orificii *O* şi *O'* şi undele luminoase ajung „în fază": creastă cu creastă şi vale cu vale. Mişcarea celor două unde se adună şi avem o creştere a iluminării. Acelaşi lucru este adevărat şi pentru punctul *c*, ale cărui distanţe pînă la *O* şi *O'* diferă printr-o lungime de undă. Pe de altă parte, în punctele *b* şi *d* pentru care *bO—b'O* şi *dO—d'O* diferă cu 1/2 lungime de undă şi respectiv cu 1 1/2 lungime de undă, undele care sosesc sînt „defazate" şi crestele acoperă văile. În acest loc observăm benzi întunecate.

Lucrările lui Thomas Young şi ale marelui său contemporan, francezul Augustin Jean Fresnel, au stabilit, în mod ferm,

valabilitatea teoriei ondulatorii a luminii şi astfel Huygens a cîştigat post mortem disputa pe care a dus-o toată viaţa cu Newton.

UN CRISTAL DIN ISLANDA

O altă problemă abordată atît de Newton, cît şi de Huygens, dar nerezolvată, a fost polarizarea luminii. În 1669 filozoful danez Erasmus Bartholin a descoperit că cristalul unui mineral transparent, denumit spat de Islanda, are proprietatea deosebită de a scinda razele de lumină care trec prin el într-o anumită direcţie, în două raze separate (planşa I, jos). Dacă cristalul e rotit în jurul razei de lumină incidentă, una din cele două raze emergente, numită *raza ordinară*, rămîne staţionară în timp ce *raza extraordinară* se roteşte o dată cu cristalul. Huygens a interpretat acest fenomen, presupunînd că unda luminoasă care intră în cristalul de spat de Islanda (şi în cîteva alte cristale) este scindată în două unde: una care se propagă cu aceeaşi viteză în toate direcţiile prin cristal, şi alta a cărei viteză depinde de direcţia ei de deplasare în raport cu axele cristalului. Ideea lui Huygens asupra modului în care această diferenţă în vitezele de propagare conduce la formarea a două raze este arătată în fig. III-18 şi se bazează, desigur, pe principiul lui Huygens. Cînd raza de lumină cade vertical pe suprafaţa cristalului de spat de Islanda, se formează două serii de unde secundare, unele sferice şi altele elipsoidale. Undele secundare sferice conduc la un front de undă care este continuu în aceeaşi direcţie ca şi raza incidentă, în timp ce undele secundare elipsoidale duc la formarea frontului de undă rezultant, care se deplasează continuu în toate direcţiile, formînd raza extraordinară. După ce ambele raze părăsesc cristalul, în aer se formează numai unde sferice, iar cele două raze devin paralele. Deşi această explicaţie dată de Huygens era corectă, el nu putea să explice de ce razele de lumină din cristal se propagă în două moduri diferite. Aceasta, din cauză că el credea că oscilaţiile undelor luminoase au loc în direcţia lor de propagare (vibraţii longitudinale) ca şi în cazul sunetului, caz în care nu ar fi nici o diferenţă dacă s-ar roti cristalul în jurul direcţiei razei incidente. Newton, pe de altă parte, care nu

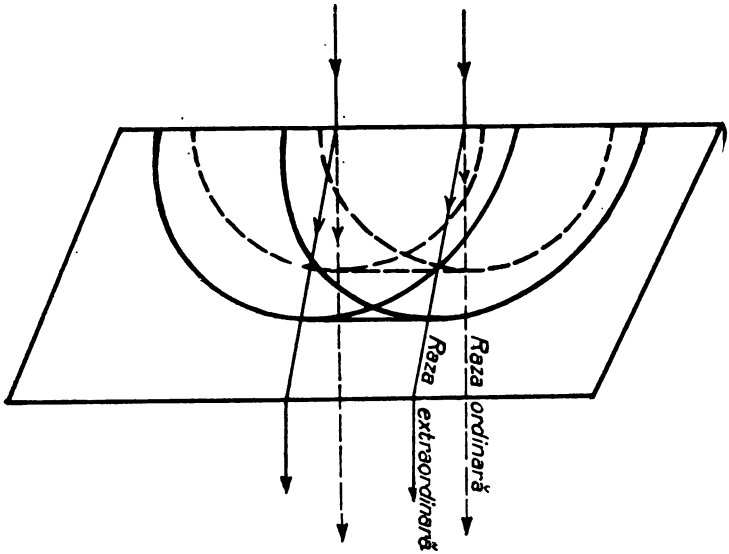


FIG. III—18 Explicația dată dublei refracții de către Huygens.

credea în undele și undele secundare ale lui Huygens, a încercat să explice acest fenomen (cunoscut sub numele de „dubla refracție") presupunînd că particulele care formează razele ordinară și extraordinară sînt orientate diferit în direcție perpendiculară pe rază. În cea de-a doua ediție a *Opticii*, el a comparat diferența dintre cele două raze cu diferența dintre două tije lungi, una cu secțiune circulară, iar alta cu secțiune dreptunghiulară. Dacă rotim prima tijă în jurul axei sale nu se va observa nici o diferență, ceea ce nu se mai întîmplă însă și în cazul celei de-a doua tije. „Fiecare rază de lumină — scria Newton — are de aceea două laturi opuse, dotate inițial cu proprietăți de care depinde refracția neobișnuită, și alte două laturi opuse care nu sînt dotate cu această proprietate".

Înțelegînd în mod clar că razele de lumină trebuie să aibă anumite proprietăți transversale (adică perpendiculare pe direcția de propagare), Newton a reușit să-și închipuie cam cum ar putea să fie.

Mult mai tîrziu, datorită lucrărilor fizicianului francez Étienne Malus (1775—1812) şi ale altora, ideile lui Huygens şi Newton referitoare la acest subiect au fost asociate formînd împreună un singur punct de vedere. Nu există nici o îndoială că lumina nu este decît propagarea undei în spaţiu, însă vibraţiile mediului au loc nu în direcţia propagării, aşa cum credea Huygens, ci perpendiculare pe aceasta. Diferenţa dintre raza ordinară şi extraordinară în spatul de Islanda constă în aceea că, în primul caz, vibraţiile au loc în planul care trece prin rază şi axa cristalului, în timp ce în celălalt caz sînt perpendiculare pe el.

Descoperirea caracterului transversal al vibraţiilor luminii nu a pus capăt însă problemelor care le-au mai rămas de rezolvat fizicienilor din generaţia următoare.

De fapt, vibraţiile transversale pot exista numai în corpurile solide, care rezistă forfecării şi îndoirii. Aceasta înînsemna că eterul universal, purtătorul ipotetic al luminii, nu era un gaz chiar atît de rarefiat cum şi l-a imaginat Huygens, ci un corp solid! Dacă atotpătrunzătorul eter este solid, cum pot să se mişte planetele şi alte corpuri cereşti prin el fără ca, practic, să nu întîmpine nici o rezistenţă? Şi, chiar dacă s-ar presupune că eterul universal este o substanţă solidă cu greutate foarte mică, uşor comprimabilă, la fel cu Styrofoamul* foarte folosit astăzi, mişcarea corpurilor cereşti ar fi tăiat atît de multe canale în ea, încît în scurtă vreme şi-ar fi pierdut proprietăţile de a transporta undele luminoase pe distanţe mari! Multe generaţii de fizicieni şi-au bătut capul pînă cînd, în cele din urmă, Albert Einstein a limpezit lucrurile, zvîrlind eterul afară pe fereastra laboratorului de fizică.

ECLIPSA LUI NEWTON

La vîrsta de 50 de ani, Newton s-a hotărît să abandoneze viaţa de studiu şi a început să-şi caute un post care să-i aducă un venit mai mare. I s-a oferit postul de director la

* Denumirea engleză a unui material plastic pe bază de polistiren. -*N.T.*

Charterhouse* din Londra, dar considerînd că nu era ceea ce i s-ar fi cuvenit, a refuzat oferta scriind:

Vă mulţumesc pentru faptul că mi-aţi propus Charterhouse-ul, dar nu văd nimic care să mă facă să mă grăbesc a merge acolo: în afara unei trăsuri (care i-a fost, bineînţeles, oferită), ceea ce consider mai nimic, sînt cele 200 £ pe an cu sechestrare în aerul Londrei şi cu nişte condiţii de viaţă care nu-mi convin de loc; şi apoi nici nu cred că e bine să intri într-o astfel de competiţie în care s-ar crede că ar fi vorba de un loc mai bun".

În 1696, la vîrsta de 54 de ani, a fost numit mai întîi director, iar mai tîrziu director general al Monetăriei din Londra şi a început să facă bani şi la propriu şi la figurat. În 1705 a fost înnobilat, devenind sir Isaac, apoi a mai primit şi alte multe onoruri. Ultimul pătrar al vieţii sale de aproape un veac (a murit în 1727 la vîrsta de 85 de ani) a fost lipsit însă de orice descoperiri importante de genul celor pe care le făcuse din belşug pe vremea cînd nu împlinise încă 25 de ani. Cîţiva dintre biografi spun că decăderea s-ar datora senilităţii, alţii, epuizării, dar cîte alte idei de felul acesta nu puteau să le treacă prin minte pe atunci. Oricum, a făcut destul!

---

* O şcoală pentru aristocraţia britanică, la modă pe atunci.

IV

Căldura ca formă a energiei

Primele studii ale fenomenului de căldură au fost făcute de preistoricul om al peşterilor care a învăţat cum să-şi facă focul atunci cînd Soarele nu dădea destulă căldură. Colaboratoarea sa apropiată, femeia, a făcut o altă descoperire importantă, şi anume, că diferite alimente ţinute un anumit timp deasupra flăcării sau fierte în apă au un gust mult mai bun şi sînt mai uşor de digerat. Noţiunile de „cald" şi „rece" sînt înnăscute în om, ca de altfel şi la alte vieţuitoare, iar temperatura mediului înconjurător este înregistrată şi semnalată în creier cu ajutorul a miliarde de nervi ale căror terminaţii se află la suprafaţa pielii. Dar răspunsul fiziologic la temperatură este adesea înşelător: de exemplu, un om legat la ochi n-ar putea spune dacă mîna lui a fost arsă cu un fier încins sau cu o bucată de zăpadă carbonică. În ambele cazuri senzaţiile sînt aceleaşi, deoarece ambele sînt răspunsul fiziologic la distrugerea ţesutului.

TERMOMETRE

Primul instrument cu adevărat ştiinţific pentru măsurarea temperaturilor a fost inventat, în 1592, de către Galilei, care a folosit în acest scop o sticlă cu gît îngust. Sticla era umplută pe jumătate cu apă colorată şi aşezată cu susul în jos într-un castron, de asemenea cu apă colorată. O dată cu schimbarea temperaturii, aerul conţinut în sticlă începea să se dilate sau să se contracte, iar coloana de apă din gîtul sticlei se deplasa în sus sau în jos. Galilei însă nu a introdus nici o scară de temperatură şi de aceea micul său

dispozitiv ar fi trebuit să se numească mai degrabă „termoscop" decît „termometru". Modificarea termoscopului lui Galilei a fost propusă de către Ray în 1631; el a inversat pur şi simplu, poziţia sticlei lui Galilei, în care încălzirea şi răcirea erau înregistrate cu ajutorul expansiunii apei.

În anul 1635, ducele Ferdinand al Toscanei, care manifesta interes pentru ştiinţă, a construit un termometru, folosind alcool (care îngheaţă la o temperatură mai mică decît apa) pe care l-a pus într-un tub cu capătul închis ca să nu se evapore. În sfîrşit, în 1640, oamenii de ştiinţă de la Academia dei Lincei din Italia au construit un prototip al termometrului modern, cu mercur, scoţînd, cel puţin în parte, aerul din partea superioară a tubului închis ermetic. E interesant de notat că întreaga perioadă de perfecţionare a termometrului a durat aproximativ o jumătate de secol faţă de numai cîţiva ani care s-au scurs între descoperirea undelor electromagnetice şi construirea primului radiotelegraf, sau între descoperirea fisiunii uraniului şi prima bombă atomică.

LEGILE GAZELOR

În timp de Newton reflecta, la Cambridge, asupra luminii şi gravitaţiei, un alt englez, Robert Boyle, lucra la Oxford în domeniul proprietăţilor mecanice şi compresibilităţii aerului şi a altor gaze. Auzind despre pompa de aer inventată de Otto von Guericke, a adus îmbunătăţiri substanţiale schiţelor şi a început o serie de experienţe privind măsurarea volumului de aer la diferite presiuni joase şi ridicate. Cercetările sale sînt cuprinse în ceea ce se cunoaşte azi sub numele de legea lui Boyle*, care afirmă că *volumul unei cantităţi date din orice gaz, la o temperatură dată, este invers proporţional cu presiunea la care acesta este supus* (fig. IV-1).

Aproape cu un secol mai tîrziu un francez, Joseph Gay-Lussac, studiind dilatarea gazelor, cînd acestea erau încălzite, a găsit o altă lege importantă care afirmă că *presiunea*

* Este cunoscută, de fapt, sub numele de legea Boyle-Mariotte, întrucît a fost descoperită de amîndoi, însă independent unul de altul. -*N.T.*

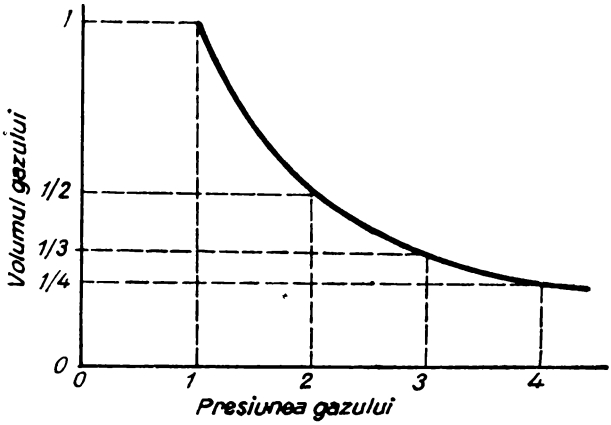


FIG. IV—1 Reprezentarea grafică a legii proporţionalităţii inverse între volumul şi presiunea gazului, a lui Boyle-Mariotte.

oricărui gaz conţinut într-un volum dat creşte cu $\frac{1}{273}$ *grade din valoarea iniţială pentru fiecare grad (centigrad) de temperatură.* Aceeaşi lege a fost descoperită de un alt francez, Jacques Charles, cu doi ani mai devreme, şi de aceea adesea e denumită „legea lui Charles".

TERMOMETRUL CU GAZ ŞI TEMPERATURA ABSOLUTĂ

Aceste două legi subliniază simplitatea structurii interne a gazelor, în timp ce compresibilitatea şi dilatarea termică mică a lichidelor şi solidelor sînt supuse unor legi mai complicate şi depind, în mod esenţial, de natura materialului. Simplitatea legilor care guvernează comportarea gazelor, independent de natura lor chimică, face ca „termoscopul" cu gaz construit de Galilei să fie un instrument mult mai potrivit pentru măsurarea temperaturii decît oricare alt instrument construit după aceea. Diferitele lichide, ca: apa, alcoolul, mercurul etc. (ca şi solidele care pot fi, de asemenea, folosite la construcţia termometrelor), se dilată într-un mod diferit cu creşterea temperaturii; apa, chiar, se contractă în loc să se dilate, cînd temperatura creşte de

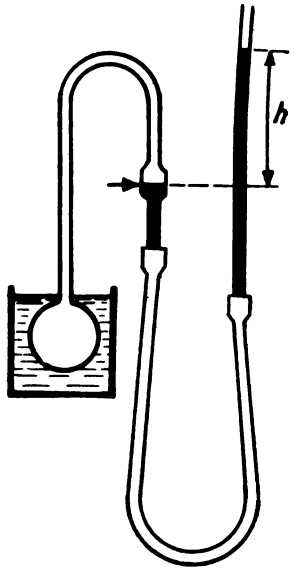


FIG. IV—2 Principiul termometrului cu gaz. Cu cît temperatura lichidului din vasul din stînga este mai mare, cu atît nivelul *h* al mercurului din tubul mobil, din dreapta, trebuie să fie mai mare, astfel încît nivelul mercurului din tubul din mijloc să rămînă mereu în același loc indicat de săgeată.

la punctul de înghețare cu cîteva grade mai sus. Astfel, dacă cineva ar construi două termometre, utilizînd lichide diferite, și ar marca pe ele poziția coloanei la două temperaturi diferite (să zicem punctul de înghețare și de fierbere al apei), și ar împărți distanța între aceste puncte într-un număr egal de intervale (100° în cazul scării Celsius), aceste două termometre vor arăta valori diferite în intervalul dintre cele două puncte (extreme) de la capete. Pe de altă parte, deoarece toate gazele se dilată la fel cînd sînt încălzite, ele constituie un material mai potrivit pentru măsurarea temperaturilor. Utilizînd un termometru cu gaz, la fel ca și Galilei, nu e nevoie să se specifice că gazul este aer obișnuit, hidrogen, heliu sau altceva. Versiunea modernă a termometrului cu gaz e arătată în fig. IV-2 și se bazează

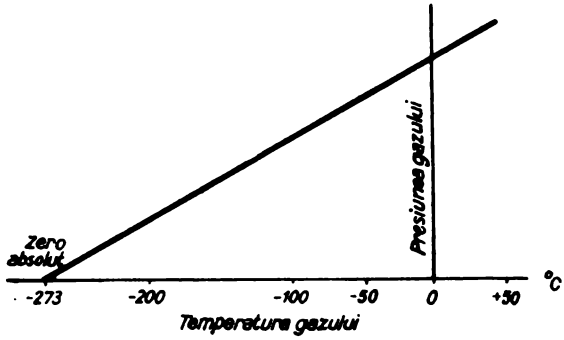


FIG. IV—3 Un grafic care arată dependența presiunii unui gaz (conținut într-un volum dat) de temperatură. La temperatura 273°C, sub punctul de înghețare a apei, presiunea gazului devine zero.

mai mult pe măsurarea presiunii decît a volumului unui gaz încălzit. Cu creșterea temperaturii, gazul se dilată și împinge în jos mercurul din tubul din stînga. Ridicînd tubul din dreapta se aduce gazul la volumul inițial și se măsoară temperatura prin diferența h dintre cele două niveluri ale mercurului. Stabilindu-se scara de temperaturi pe baza termometrului cu gaz, se poate grada apoi orice alt termometru folosind termometrul cu gaz drept etalon. Utilizînd termometrul cu gaz și pornind de la presiunea atmosferică (cînd cele două coloane de mercur din tubul de sticlă se află la același nivel) se constată iarăși, așa cum s-a menționat mai sus, că presiunea gazului crește sau descrește cu $\frac{1}{273}$ grade din valoarea ei inițială, cînd temperatura crește sau scade cu 1°C. Astfel, dacă începem cu 0°C (punctul de înghețare a apei) și răcim gazul pînă la 273° sub zero, se așteaptă ca presiunea gazului să scadă la zero, ca și volumul gazului (fig. IV-3). Punctul la care se presupune că au loc aceste fenomene este cunoscut sub numele de *zero absolut al temperaturii*, iar temperatura care se măsoară considerînd acest punct ca zero este *temperatura absolută* (T° abs. = 273 + T°C). Desigur că gazele răcite nu se vor comprima niciodată atît, încît să se reducă la un punct matematic fără volum, iar cu puțin înainte de zero absolut se

condensează, ajungînd la faza lichidă care nu poate fi comprimată mai mult. Totuşi punctul zero absolut al temperaturii joacă un rol foarte important în termodinamică, fiind temperatura la care ar avea loc scăderea volumului unui gaz la un punct matematic, dacă moleculele gazului ar fi ca mărime infinit de mici şi nu ar exista forţe intermoleculare atractive (Ambele condiţii sînt aproape satisfăcute pentru „gazele rare" ca heliu, neon, argon etc.).

FLUID DE CĂLDURĂ

Deşi lumea a vorbit despre căldură încă din timpuri imemoriale — ea existînd cam prea multă în ţările sudice şi nu destulă în ţările nordice — ,totuşi primul om care a vorbit despre căldură ca despre o entitate fizică a cărei cantitate poate fi măsurată la fel cum se măsoară o cantitate de apă sau de petrol, a fost, probabil, un medic scoţian interesat de cercetările de fizică şi de chimie, al cărui nume era James Black (1728—1799). El îşi închipuia căldura ca fiind un anumit fluid imponderabil — pe care l-a denumit „calor" — care poate pătrunde în toate corpurile materiale făcînd să crească temperatura acestora. Amestecînd 1 galon* de apă în fierbere cu 1 galon de apă îngheţată, el a observat că temperatura amestecului se află exact la jumătate între cele două temperaturi iniţiale, şi a interpretat acest lucru spunînd că după amestec excesul de „calor" în apa fierbinte se distribuie în mod egal între cele două părţi. El a definit unitatea de căldură ca fiind cantitatea necesară pentru a ridica temperatura unei livre de apă cu 1°F (în sistemul metric modern se vorbeşte despre *calorie*, care este cantitatea de căldură necesară pentru a ridica temperatura unui gram de apă cu 1°C). El a mai ajuns la concluzia că cantităţi egale din diferite materiale încălzite la aceeaşi temperatură conţin cantităţi diferite de „calor"; de exemplu, amestecînd cantităţi egale de apă fierbinte şi mercur rece se atinge o teperatură care este mult mai aproape de temperatura iniţială a apei decît de cea a mercurului. Argumentul adus a fost că răcind cu 1° o anumită cantitate de apă,

* Unitate de măsură pentru lichide egală cu 3,78 l în S.U.A. şi cu 4,54 l în Anglia, -*N.T.*

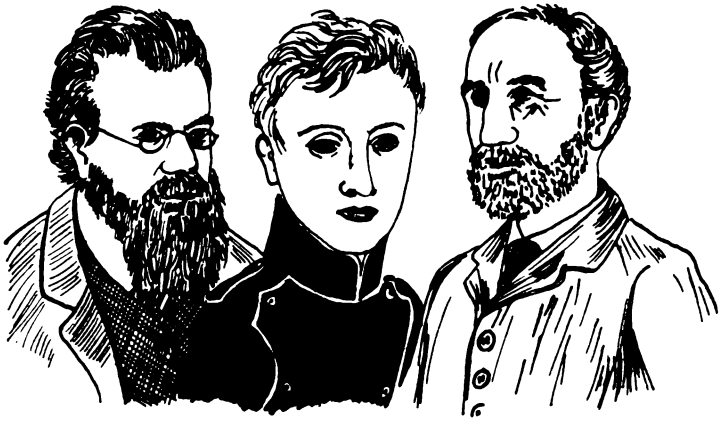


FIG. IV—4 Ludwig Boltzmann (stînga), Sadi Carnot (centru) şi Josiah Gibbs (dreapta), fondatorii teoriei moderne a căldurii.

aceasta eliberează mai multă căldură decît este necesar ca să se ridice cu 1° temperatura unei cantităţi echivalente de mercur. Aceasta l-a condus la noţiunea de *capacitate calorică* a diferitelor materiale caracterizate de cantitatea de căldură necesară pentru ridicarea temperaturii lor cu 1°. Altă importantă noţiune introdusă de Black a fot *căldura latentă*, care este cantitatea de căldură necesară pentru a transforma gheaţa în apă (ambele la 0°C) sau a apei care fierbe în vapori de apă (ambele stări la 100°C). El credea că adăugînd o anumită cantitate din fluidul imponderabil de căldură unei bucăţi de gheaţă, aceasta îşi pierde structura, transformîndu-se în lichid şi apoi, în mod similar, adăugînd mai multă căldură apei fierbinţi, aceasta, la rîndul ei, îşi pierde structura şi mai mult, transformîndu-se în vapori. Analogia dintre căldură şi un fluid a fost dusă mai departe de tînărul francez, Sadi Carnot (fig. IV-4), care a murit în anul 1832, la vîrsta de 36 ani. Carnot a comparat maşina cu vapori, în care lucrul mecanic era produs de căldura care se scurgea dintr-un fierbător, cu o roată mînată de apa ce cade de la înălţime, efectuînd lucrul mecanic. Această analogie l-a dus la următoarea concluzie: ca şi în cazul roţii mînate de apă, unde cantitatea de lucru produs de o anumită canti-

tate de apă creştea proporţional cu diferenţa dintre nivelurile apei de deasupra roţii şi de dedesubt, cantitatea de energie mecanică ce poate fi produsă de către o maşină cu abur trebuie să fie proporţională cu diferenţa de temperatură dintre boiler, unde se produce aburul şi condensor, unde acesta se condensează. El credea totuşi că, la fel ca în cazul roţii mînate de apă, cantitatea de căldură care intră în condensor este egală cu cea luată de la boiler şi că lucrul mecanic se produce datorită faptului că o anumită cantitate de căldură „cade" de la o temperatură înaltă într-o regiune de temperatură scăzută. Astăzi ştim că această presupunere era greşită şi că maşinile cu vapori transformă o parte a căldurii care trece prin ele în energie mecanică şi că în condensor vine o cantitate mai mică de căldură, diferenţa fiind tocmai cantitatea de căldură transformată.

CĂLDURA ESTE MIŞCARE

Ideea că s-ar putea concepe căldura ca un anumit tip de mişcare a corpurilor materiale şi nu o substanţă specială — aşa cum credeau Black şi alţii — i-a venit prima dată în minte unui angajat militar şi a fost verificată prin experienţe efectuate într-o fabrică de armament. Benjamin Thompson s-a născut în Massachusetts; în tinereţe a participat la războiul de independenţă. Mai tîrziu a dobîndit cetăţenia engleză şi curînd după aceasta a devenit subsecretar de stat în Ministerul Coloniilor. Apoi, ceva mai tîrziu, a fost trimis în Bavaria ca ministru de război şi a primit titlul de Conte Rumford pentru reorganizarea armatei germane. În afara acestor activităţi din cadrul armatei, îl interesau mult problemele ştiinţei şi, în mod particular, natura căldurii. Nu se împăca de loc cu punctul de vedere contemporan lui, după care căldura ar fi un anumit tip de substanţă destul de asemănătoare cu toate celelalte substanţe chimice, care, unită cu gheaţa, produce apa (gheaţa + căldură = = apă) sau poate fi pusă în libertate în diferite procese de combustie. Motivul îndoielii sale era faptul că se putea produce căldură „din nimic" în procesele de frecare, cînd acestea, cel puţin aparent, nu aveau nimic comun cu transformările chimice. Urmărind strunjirea tunurilor la fabrica de muniţii din München, el a constatat cu uimire că şpanul

devenea fierbinte îndeosebi cînd burghiul era tocit. El considera că ar fi posibil ca diferitele corpuri materiale să aibă o capacitate mai mare pentru fluidul caloric, cînd sînt în bloc compact decît atunci cînd sînt fragmentate în bucăţi mici; aceasta ar explica eliberarea de căldură din timpul strunjirii, cînd se produce o mare cantitate de şpan. A măsurat cu grijă capacitatea calorică a metalului în bloc şi în şpan, luînd greutăţi egale şi a găsit că este aceeaşi. El a încercat să compare greutatea corpurilor fierbinţi cu greutatea aceloraşi corpuri, reci, pentru a descoperi greutatea fluidului de căldură care s-a scurs; rezultatul a fost însă negativ.

În concordanţă cu rezultatele numerice pe care le-a dat în articolul său din „London Philosophical Transactions" (1799) o calorie nu poate cîntări mai mult de 0,000 013 mg. Azi ştim că orice formă de energie are asociată o anumită masă care poate fi obţinută după faimoasa relaţie a lui Einstein, prin împărţirea energiei respective la pătratul vitezei luminii. Unei calorii îi corespunde o masă de 0,000 000 000 04 mg, care este cu mult sub precizia oricărei măsurători. Toate aceste concluzii referitoare la căldură l-au condus pe Rumford la concluzia că aceasta nu ar fi o substanţă obişnuită, ea trebuind să fie un anumit tip de mişcare. El scria: „Ce este căldura? Ea nu poate fi o substanţă materială. Pentru mine ar părea dificil, dacă nu chiar imposibil, să-mi imaginez căldura ca fiind altceva decît ceea ce rezultă din experienţa cu strunjirea tunului cînd căldura apărea ca un rezultat al mişcării".

ECHIVALENTUL MECANIC AL CĂLDURII

Ideile contelui Rumford au fost dezvoltate mai departe, cîteva decenii mai tîrziu, de către fizicianul german Julius Robert Mayer în articolul său *Remarci asupra forţelor naturii neînsufleţite*, publicat în 1842. Mayer a organizat o experienţă la o fabrică de hîrtie, cu care prilej pulpa (tulpina decojită a lemnului din care se face hîrtia) conţinută de un cazan mare era agitată cu ajutorul unui mecanism tras de un cal ce se mişca în cerc, în jurul lui. Măsurînd creşterea temperaturii materialului, el a obţinut o cifră pentru căldura produsă de o anumită cantitate dată de lu-

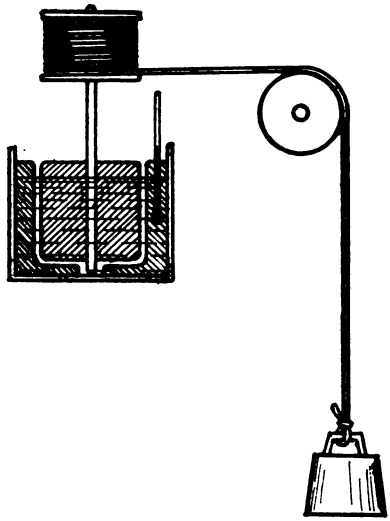


FIG. IV—5 Experienţa lui Joule asupra transformării energiei mecanice în căldură. Greutatea care coboară roteşte paletele într-un vas plin cu apă, iar temperatura apei creşte datorită frecărilor interne. Comparînd lucrul efectuat, prin coborîrea greutăţii, cu creşterea conţinutului de căldură al apei, Joule a obţinut valoarea echivalentului mecanic al căldurii.

crul mecanic. efectuat de cal. Totuşi, fiind prea ocupat cu practica medicală, el nu a mai continuat aceste cercetări în vederea efectuării unor experienţe mai precise şi de aceea, cinstea de a fi măsurat exact echivalentul mecanic al caloriei i-a revenit unui englez, James Prescott Joule.

În experienţele sale, Joule s-a folosit de un aparat prezentat schematic în fig. IV-5; acesta constă dintr-un vas plin cu apă, avînd în centru un ax cu mai multe palete fixate pe el, care se roteşte. Apa din vas a fost oprită să se mai rotească liber, împreună cu paletele de pe ax, cu ajutorul unor alte palete speciale, fixate pe pereţii vasului, care măresc frecarea internă. Axul cu palete era mişcat cu ajutorul unei greutăţi suspendate pe un scripete şi lucrul efectuat prin coborîrea greutăţii a fost transformat în frecare-căldură comunicată apei. Cunoscînd cantitatea de apă din vas şi măsurînd creşterea de temperatură, Joule a putut

calcula cantitatea totală de căldură produsă. Pe de altă parte, produsul dintre greutatea în mişcare şi distanţa parcursă de ea la coborîre dă cantitatea de lucru mecanic. Repetînd acest experiment de multe ori, şi în diferite condiţii, Joule a stabilit că există o proporţionalitate directă între lucrul efectuat şi căldura produsă. Anunţînd, în 1843, rezultatul cercetărilor sale, el scria: „Lucrul efectuat de o greutate de o livră (453,6 g) pe o distanţă de 778 de picioare la Manchester va fi — în cazul cînd se produce căldura prin frecarea apei — echivalent cu ridicarea temperaturii unei livre de apă la un grad Fahrenheit". Este valoarea care, fiind exprimată în aceste unităţi sau în altele, se foloseşte astăzi peste tot cînd trebuie transformată energia calorică în energie mecanică şi invers.

TERMODINAMICA

Atunci cînd echivalenţa dintre căldură şi energia mecanică — cunoscută azi drept prima lege a termodinamicii — a fost deplin stabilită, sosise vremea să se extindă lucrările lui Sadi Carnot referitoare la legile transformării unei forme de energie în alta. Lucrările de pionierat în această direcţie au fost efectuate în a doua jumătate a secolului trecut de fizicianul german Rudolph Clausius şi de fizicianul englez Lord Kelvin. Din experienţa de toate zilele ştim că întotdeauna căldura se scurge de la corpurile mai calde la corpurile mai reci, şi niciodată în direcţie contrară. Ştim, de asemenea, că energia mecanică poate fi transformată complet în căldură, de exemplu, prin frecare, cîtă vreme o completă transformare a căldurii în energie mecanică este o imposibilitate fizică. Desigur, însuşi Sadi Carnot a înţeles că producerea lucrului mecanic este asociată cu o „coborîre" a unei anumite cantităţi de căldură de la temperatura înaltă la temperatura joasă. În timp ce Carnot credea (în mod eronat) că toată cantitatea de căldură rămîne intactă la trecerea de la boiler la condensor, prima lege a termodinamicii stabileşte că o anumită cantitate se pierde şi că o altă cantitate echivalentă apare sub formă de lucru mecanic efectuat de maşină. Situaţia e analogă cu aceea a unei case aşezate pe un deal, care îşi face aprovizionarea cu apă de la pîrîu. În loc de a acţiona

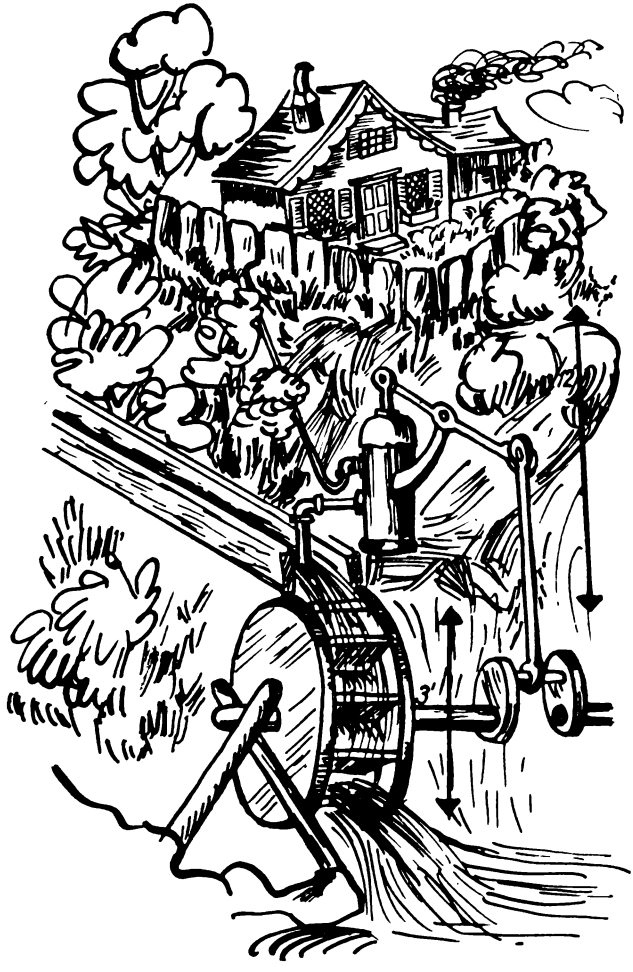


FIG. IV—6 O analogie hidrodinamică a maşinii termice care transformă în energie mecanică o parte din energia calorică ce vine dintr-o regiune cu temperatură înaltă în alta cu temperatură mai joasă.

pompa cu un motor electric, locuitorii casei au hotărît să o pună în mişcare cu ajutorul unei roţi cu apă acţionată chiar de pîrîu, aşa cum se vede în fig. IV-6. Astfel, în timp

ce o parte din apa pîrîului mişcă roata prin cădere, o altă parte este pompată în sus, în casă. E clar că nu este posibil să se pompeze toată apa din pîrîu, deoarece nu ar mai putea fi acţionată pompa. Lucrul mecanic efectuat de căderea de apă sau cerut pentru ridicarea ei în sus este egal cu cantitatea de apă înmulţită cu înălţimea; astfel, cel mai bun rezultat se obţine atunci cînd cantitatea de apă rămasă în pîrîu este suficientă pentru a pompa restul de apă în casă. Dacă, de exemplu, înălţimea stăvilarului ar fi de 3 picioare (91,4 cm) şi casa este situată cu 12 picioare (365,76 cm) mai sus decît pompa, notînd cu x cantitatea de apă pompată în casă vom scrie relaţia:

$$12\,x = 3(1-x),$$

de unde rezultă

$$x = \frac{3}{12+3} = \frac{1}{5}.$$

Astfel, cu acest dispozitiv nu se poate pompa în casă mai mult de o cincime din apa pîrîului. Aşa după cum va fi arătat mai departe, în cazul în care căldura se scurge de la o regiune caldă la o regiune rece, o parte din ea este transformată în energie mecanică; fracţiunea de căldură care poate fi transformată în lucru mecanic este dată de expresia:

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

unde T_1 şi T_2 sînt temperaturile absolute* ale boilerului şi respectiv condensorului. Temperatura apei în fierbere este de 100°C sau 373°K şi dacă condensorul este răcit cu gheaţă, temperatura lui este de 0°C sau 273°K. Eficacitatea maximă a unei astfel de maşini cu abur este 100/373 = = 26%. De fapt, din cauza pierderilor de căldură şi din alte considerente practice, eficacitatea maşinii cu abur este încă şi mai scăzută.

* Temperatura absolută se măsoară în grade absolute sau grade Kelvin (K°), egale, ca interval de temperatură, cu gradele Celsius. Deosebirea dintre cele două scări, Kelvin şi Celsius, constă doar în alegerea diferită a punctului 0°. -*N.T.*

Afirmaţia că e *imposibil să transformi căldura în energie mecanică fără ca o anumită cantitate de căldură să treacă de la un loc mai cald la unul mai rece* este cunoscută sub numele de „cea de a doua lege a termodinamicii". Ea corespunde cu afirmaţia că *de la sine căldura nu se scurge de la un loc mai rece la unul mai cald*. Desigur, dacă am putea determina căldura să se scurgă în mod natural de la condensor la boiler, am avea un ciclu de căldură vicios şi maşina cu abur ar funcţiona fără combustibil. Un asemenea dispozitiv mecanic ar trebui să asigure curgerea automată a apei la deal şi apoi căderea ei în torent peste roata morii!

În tratarea matematică a termodinamicii se introduce noţiunea de „entropie", notată în mod obişnuit cu S şi definită ca fiind cantitatea de căldură primită sau pierdută de către corp împărţită la temperatura (absolută) a corpului. Utilizînd noţiunea de entropie, se poate reformula legea a doua a termodinamicii în modul următor: *entropia oricărui „sistem izolat"* (adică a unui sistem care nu este în nici un fel de interacţiune termică sau mecanică cu mediul înconjurător) *poate numai să crească sau să rămînă constantă*. Dacă punem un cub de gheaţă într-un pahar cu apă caldă, căldura ar putea să se scurgă de la gheaţă la apă, răcind cubul de gheaţă sub zero grade şi încălzind apa pînă la fierbere. Însă conform celei de a doua legi a termodinamicii, nu se va întîmpla aşa ceva, deoarece într-o asemenea situaţie entropia sistemului cub de gheaţă — apă ar scădea.

Desigur, dacă T_1 este temperatura apei calde şi T_2 temperatura cubului de gheaţă, atunci $T_1 > T_2$. Să presupunem că o anumită cantitate de căldură, Q, se scurge în mod spontan de la cubul de gheaţă la apa caldă care îl înconjură. Cantitatea de căldură primită de apă va fi $+Q$ iar variaţia entropiei sale $\Delta S_1 = + \frac{Q}{T_1}$. Cantitatea de căldură primită de cubul de gheaţă va fi $-Q$ — deoare ce gheaţa a pierdut căldură — iar variaţia entropiei cubului de gheaţă va fi $\Delta S_2 = - \frac{Q}{T_2}$. Atunci variaţia totală a entropiei în sistemul apă-gheaţă va fi $\Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{Q}{T_1} - \frac{Q}{T_2} = Q\left(\frac{1}{T_1} -$

$-\frac{1}{T_2}\Big)$. Deoarece $T_1 > T_2$ rezultă că $\frac{1}{T_1} < \frac{1}{T_2}$, deci mărimea din paranteză e negativă. Astfel, scurgerea căldurii de la cubul de gheaţă la apă ar corespunde scăderii entropiei, ceea ce contrazice legea a doua a termodinamicii. Această argumentare se aplică, desigur, numai la sisteme „izolate", adică la sisteme care nu sînt alimentate cu energie dinafară. În cazul frigiderului de bucătărie sau al ferestrei aparatului pentru condiţionarea aerului, căldura este extrasă din refrigerator sau din cameră şi pompată spre un loc mai cald din exterior, însă în acest caz scăderea entropiei este compensată de lucrul efectuat de curentul electric care pune în mişcare motorul.

Legea creşterii entropiei ne permite, de asemenea, să deducem, pe o cale simplă, expresia randamentului maşinii termice, menţionată la p. 112. Fie T_1 şi T_2 temperatura boilerului şi respectiv temperatura condensorului şi să presupunem că o anumită cantitate de căldură, Q_1, este luată de la acest boiler. Condensorul va primi o cantitate de căldură, Q_2, mai mică, iar diferenţa $Q_1 - Q_2$ va fi transformată în energie mecanică. Astfel, entropia boilerului va scădea cu cantitatea $\frac{Q_1}{T_1}$, iar cea a condensorului va creşte cu cantitatea $\frac{Q_2}{T_2}$. Deoarece creşterea entropiei condensorului trebuie să fie mai mare sau cel puţin egală cu scăderea entropiei boilerului, putem scrie:

$$\frac{Q_1}{T_1} \leqslant \frac{Q_2}{T_2},$$

de unde rezultă că:

$$\frac{Q_1}{Q_2} \leqslant \frac{T_1}{T_2} \text{ sau } \frac{Q_2}{Q_1} \geqslant \frac{T_2}{T_1}.$$

Cu ajutorul unor calcule simple se poate scrie:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \leqslant \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

care este chiar formula menţionată mai înainte.

Un dispozitiv ingenios, japonez, bazat pe principiul maşinii termice, este pasărea care bea (fig. IV-7). Aceasta constă dintr-un vas de sticlă — din care s-a scos aerul — confecţionat din două sfere legate printr-un tub lung. În interiorul vasului există o anumită cantitate de eter, care se evaporă rapid la temperatura camerei. Vaporii de eter umplu mai întîi sfera care întruchipează corpul păsării, apoi se ridică în sfera ce reprezintă capul păsării, care e mai rece din cauza stratului higroscopic cu care e acoperit, ţinîndu-l tot timpul umed. Eterul condensat se colectează automat în partea de jos a sferei-cap, fiind imposibil să se scurgă în jos, deoarece tubul se prelungeşte pînă dincolo de centrul sferei. Cînd se acumulează o cantitate suficient de mare de eter, capul devine mai greu decît corpul şi pasărea oscilează în jurul pivotului spre o poziţie orizontală, permiţînd astfel eterului să se scurgă înapoi, în sfera-corp, ceea ce face ca pasărea să se îndrepte din nou. De fiecare

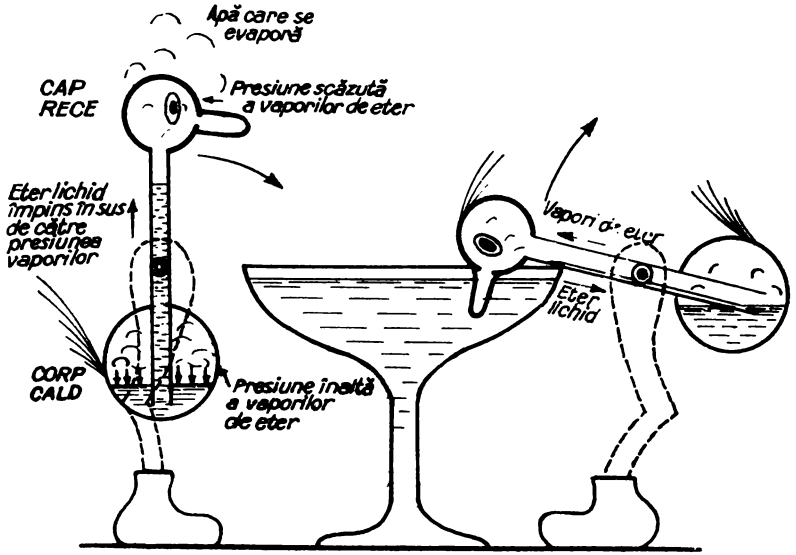


FIG. IV—7 Păsări japoneze care beau.

dată cînd pasărea se înclină în jos, ciocul ei intră în apă, capul păsării balansîndu-se astfel continuu.

Dacă, în loc de apă, am umple paharul cu vodcă, sau mai bine, cu alcool pur, răcirea capului ar fi şi mai intensă, iar pasărea va acţiona mai rapid. Dacă, pe de altă parte, am acoperi pasărea cu un clopot de sticlă, aerul din interior va deveni repede saturat cu vapori şi mişcarea va fi oprită. Pasărea acţionează mai slab, dacă umiditatea aerului atmosferic este ridicată; de fapt, autorul nu a reuşit să o facă să meargă într-o întreagă zi de vară, la Washington, D. C.

În legătură cu această jucărie care lucrează pe baza principiului evaporării apei, putem ridica o interesantă problemă de fizică. Dacă am putea ataşa un anumit mecanism cu roţi dinţate la axul în jurul căruia oscilează pasărea, am putea obţine o anumită cantitate de energie mecanică cu care să acţionăm o pompă, care să aducă apă în pahar din marea de dedesubt. Cît de sus deasupra nivelului mării se poate plasa pasărea, astfel încît să mai acţioneze? O putem considera drept o maşină termică, în care căldura trece de la corpul păsării, mai cald, la capul ei, care e mai rece, şi se transformă parţial în energie mecanică. Căldura latentă de evaporare a apei (din capul rece al păsării) este de 539 cal/g, ceea ce echivalează cu $2 \times 27 \times 10^{10}$ erg de energie mecanică. Această cifră trebuie, de asemenea, să reprezinte cantitatea de căldură care se scurge de la aerul mai cald la corpul păsării, în timp ce se evaporă de pe capul ei 1 g de apă (deoarece nu are loc o acumulare sau o pierdere de căldură în corpul păsării). Randamentul maşinii termice la transformarea căldurii în energie mecanică este $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$. În cazul nostru, T_1 şi T_2 sînt apropiate de 300°K (temperatura camerei), iar diferenţa T_1—T_2 este de numai cîteva grade. Luînd această diferenţă ca fiind, să zicem, de 3°C, găsim că randamentul este de aproximativ 1%, astfel încît evaporarea unui gram de apă de pe capul păsării va produce aproximativ 2×10^8 erg. Pentru a ridica 1 g (de apă) la înălţimea de 1 cm ar fi nevoie de un lucru mecanic egal numeric cu acceleraţia gravitaţiei, care are valoarea

de aproximativ 1 000 (981 cm/s^2), astfel încît 1 g de apă evaporată de pe capul păsării produce un lucru mecanic ce poate aduce un alt gram de apă care să-l înlocuiască de la nivelul mării pînă la înălțimea de 2×10^5 cm, adică 2 km deasupra nivelului mării. Desigur, calculele de mai sus sînt cu totul aproximative, iar diferitele pierderi de energie vor reduce considerabil valoarea găsită; este însă evident că asemenea păsări pot să „bea" apă din mare chiar dacă se află la o altitudine destul de mare!

MAȘINI PERPETUUM MOBILE DE SPEȚA ÎNTÎI ȘI A DOUA

În vremurile de demult, lumea visa la niște mașini care să lucreze la nesfîrșit, fără nici un fel de combustibil sau lipsite de orice altă alimentare cu energie din exterior. Lanțul fără sfîrșit al lui Stevinus, discutat în capitolul II, a fost folosit deseori ca un proiect posibil pentru o astfel de mașină, înainte ca Stevinus să fi arătat că nu ar putea să funcționeze, dacă se utilizează în mod corect legile echilibrului mecanic pe plan înclinat.

În timp ce mașinile cu mișcare perpetuă de speța întîi (*perpetuum mobile* de speța I) contrazic prima lege a termodinamicii, adică legea conservării energiei, *perpetuum mobile* de speța a doua contrazice cea de a doua lege a termodinamicii. Desigur, dacă am putea transforma căldura în proporție de 100% în energie mecanică, ingineria mecanică ar fi superioară oricărui formidabil proiect bazat pe energia atomică. Am fi în stare să construim vase de linie oceanice care să pompeze apă din mare, să extragă căldura cu care să pună în funcțiune mașinile și să arunce peste bord blocurile de gheață formate. Am fi în stare să construim automobile și avioane care să aspire aerul atmosferic, să utilizeze conținutul său caloric pentru propulsare și să elimine jeturi de gheață prin țevile de eșapament. Am fi în stare să...

Dar toate aceste minunate posibilități sînt interzise de a doua lege a termodinamicii, legea creșterii continue a entropiei!

O dată acceptate legile termodinamicii, putem să le folosim pentru discutarea diferitelor fenomene fizice și pentru verificarea mai multor afirmații importante în legătură cu ele. Să considerăm, de exemplu, o farfurie cu apă, cu un tub capilar care se ridică vertical deasupra suprafeței apei (fig. IV-8). Pentru a izola acest sistem de mediul înconjurător să-l acoperim cu un clopot de sticlă și să scoatem aerul din interior. Se știe că apa se ridică în tubul capilar, formînd un menisc concav. Să vedem ce se întîmplă. În primul rînd, o parte din apa din farfurie se transformă în vapori care umplu interiorul clopotului de sticlă. Datorită gravitației, densitatea și presiunea vaporilor vor fi mai mari la partea de jos și mai mici deasupra, la fel ca și în cazul atmosferei terestre. Știm că, pentru orice temperatură dată, există o anumită tensiune (presiune) de

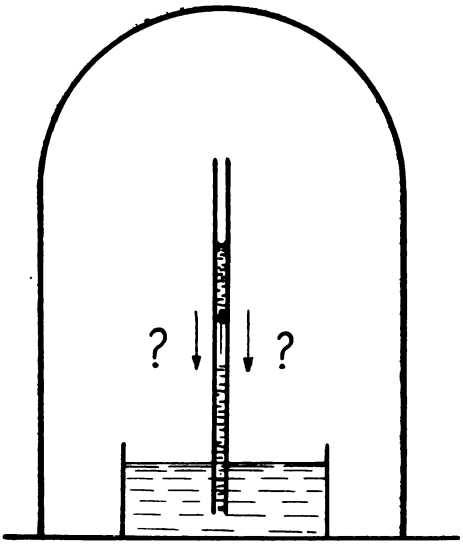


FIG. IV—8 Un exemplu de demonstrație termodinamică. Dacă presiunea vaporilor de deasupra meniscului concav din tubul capilar ar fi aceeași ca și la suprafața plană a apei din farfurie, apa ar fi în stare de mișcare perpetuă în direcția arătată de săgeți.

vapori, la care aceştia sînt „în echilibru" cu lichidul. Dacă tensiunea de vapori este prea mare, o parte din vapori se vor condensa în lichid; dacă este prea mică, o cantitate de lichid se va evapora, producînd mai mulţi vapori. Vom verifica acum, cu ajutorul unei demonstraţii termodinamice, că tensiunea de vapori pe suprafaţa concavă din capilar este mai mică decît cea de pe suprafaţa plană a apei din farfurie. Să presupunem că afirmaţia de mai sus nu e adevărată şi că presiunea e independentă de curbura suprafeţei lichidului. Ce s-ar întîmpla în acest caz? Atunci, din cauza gravitaţiei, tensiunea de vapori la suprafaţa meniscului ar fi mai mică decît la suprafaţa apei din farfurie, iar apa s-ar evapora prin tubul capilar şi s-ar condensa în farfurie. Aceasta ar duce la o nouă ridicare a apei în tubul capilar şi mişcarea va continua fără sfîrşit. Am putea plasa în tubul capilar un anumit tip de moară de apă care să acţioneze la nesfîrşit, în contradicţie cu cea de a doua lege a termodinamicii. Deoarece această lege nu poate fi contrazisă, vom conchide că *tensiunea de vapori* la *suprafaţa concavă a lichidului este mai mare decît la suprafaţa plană.*

În mod similar (luînd un tub capilar uns cu ceară, în care caz meniscul este sub suprafaţa apei din farfurie şi este convex) vom conchide că *tensiunea de vapori pe suprafaţă convexă este mai mare decît pe o suprafaţă plană.* Cu cît e mai subţire tubul capilar, cu atît mai mare este diferenţa de înălţimi şi, în consecinţă, şi variaţia tensiunii de vapori. Utilizînd valorile numerice ale constantei tensiunii superficiale (care determină înălţimea coloanei de apă din capilar) şi densitatea vaporilor de apă (care determină diferenţa de tensiune la nivelul farfuriei şi la nivelul tubului capilar) putem obţine o formulă pentru dependenţa tensiunii de vapori la suprafaţa curbată a apei. Dacă această formulă nu e adevărată, apa ar curge continuu prin capilar şi am avea un *perpetuum mobile* de speţa a doua.

Concluzia la care am ajuns mai sus este importantă pentru înţelegerea fenomenului de ploaie. Norii care zboară sus pe cer sînt formaţi din nenumărate picături punctiforme (ceaţă), atît de mici şi de uşoare încît, practic, nu au tendinţa să cadă în jos. Unele dintre aceste picături sînt mai mari, altele mai mici. Ce efect are diferenţa de mărime a picăturilor? Aşa după cum am văzut mai sus, presiunea

deasupra unei suprafeţe convexe este mai mare decît deasupra suprafeţelor plane, iar diferenţa de presiune creşte cu scăderea razei de curbură. Astfel, presiunea va fi mai mare la suprafaţa micilor picături şi mai mică la suprafaţa celor mai mari. Ca rezultat al acestei diferenţe de presiune, vaporii se vor deplasa de la suprafaţa picăturilor mici către cele mari, condensîndu-se pe suprafaţa acestora, crescîndu-le astfel mărimea. Pe de altă parte, micile picături se vor evapora şi, în cele din urmă, vor dispărea. Crescînd, picăturile vor deveni prea mari ca să mai plutească în aer, şi vor cădea sub formă de ploaie pe capetele şi umbrelele noastre.

TEORIA CINETICĂ A CĂLDURII

O dezvoltare ulterioară a teoriei căldurii şi corelarea legilor de bază ale termodinamicii — considerînd căldura ca energie de mişcare a particulelor extrem de mici, moleculele, din care sînt formate toate corpurile materiale — a fost realizată în ultimul sfert al secolului trecut, îndeosebi de către Ludwig Boltzmann, în Germania, James Clerk Maxwell, în Anglia şi Josiah Gibbs în S.U.A. (fig. IV-4 şi V-16). Luînd în considerare mişcarea nenumăratelor molecule extrem de mici care alcătuiesc corpurile materiale, este, desigur, imposibil şi, de asemenea, lipsit de sens să urmăreşti cu precizie traiectoria fiecărei particule individuale. Ceea ce dorim să cunoaştem este comportarea *medie* a moleculelor în anumite condiţii fizice diferite care ne conduc la utilizarea legilor statisticii. Metodele statistice sînt utilizate întotdeauna în relaţiile umane, cînd e vorba de un mare număr de indivizi. Companiile de asigurare, agenţiile guvernamentale care se preocupă de producţia articolelor alimentare de către fermieri etc. îşi bazează activitatea pe datele statistice, neinteresîndu-se de împrejurările în care a murit domnul John Doe sau de particularităţile dezvoltării fermei lui Jeremiah Smith. Considerînd că populaţia S.U.A. este de aproximativ 170 000 000 de locuitori pe cîtă vreme numărul moleculelor într-un centimetru cub de aer este de 20 000 000 000 000 000 000, vedem că legile statisticii trebuie să funcţioneze mai bine în cazul moleculelor decît în cazul oamenilor.

Este cel mai simplu să se aplice considerații statistice în cazul gazelor unde, spre deosebire de lichide și de solide, moleculele aleargă libere prin spațiu, ciocnindu-se atît unele de altele, cît și cu pereții vasului. Pereții vasului — care conține un gaz — sînt supuși unui bombardament continuu al moleculelor, care la rîndul lor sînt respinse înapoi de către aceștia, formîndu-se astfel, în medie, o forță staționară, presiunea gazului. Să presupunem că aceeași cantitate de gaz s-ar găsi într-un vas care ar avea numai jumătate din volum. Deoarece, în cazul acesta, numărul de molecule în unitatea de volum va fi de două ori mai mare, de două ori mai multe molecule vor fi respinse în fiecare secundă de o anumită suprafață dată a peretelui, și astfel presiunea gazului va fi dublă. Aceasta explică legea proporționalității inverse a presiunii cu volumul gazului descoperită de Robert Boyle.

Să vedem acum ce se întîmplă cînd moleculele se mișcă mai repede. Vor apărea două efecte: 1) numărul de molecule care vor atinge o anumită suprafață din perete, pe secundă, va fi mai mare; 2) tăria fiecărei ciocniri, determinată de impulsul mecanic (cantitatea de mișcare, după terminologia lui Newton) al moleculelor, va crește. Deoarece ambele efecte sînt proporționale cu viteza moleculelor, presiunea va crește cu pătratul acestei viteze sau — ceea ce e același lucru — cu energia cinetică a moleculelor. Am văzut că presiunea gazului al cărui volum este menținut constant conform legii Charles-Gay-Lussac este proporțională cu temperatura lui absolută. De aici urmează că *temperatura absolută poate fi considerată ca o măsură a energiei mișcării termice a moleculelor*. În afirmațiile de mai sus, natura moleculelor nu are importanță, deoarece una dintre legile fundamentale ale mecanicii statistice, cunoscută sub numele de „legea echipartiției energiei", afirmă că *în cazul amestecului unui mare număr de particule cu două sau mai multe mase diferite, energia cinetică medie per particulă rămîne aceeași*. Astfel, de exemplu, într-un amestec de molecule de hidrogen și de molecule de oxigen — care e de 16 ori mai greu — viteza moleculelor de oxigen este de patru ori mai mică decît a moleculelor de hidrogen, astfel încît produsul dintre masele lor și pătratul vitezei va fi același. La temperatura camerei, adică

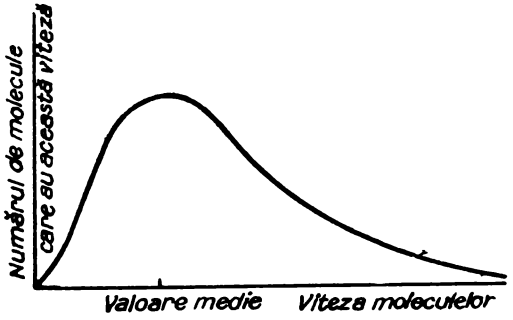


FIG. IV—9 Curba distribuţiei vitezelor după Maxwell.

la aproximativ 300°K, energia mişcării termice este de aproximativ 0,000 000 000 000 0002 erg, care în cazul moleculelor de aer corespunde unei viteze de 50 000 cm/s (aproximativ 1 000 mile/h).

Energia mişcării termice determinată de temperatura absolută este, desigur, numai o medie pe un număr mare de particule şi, ca întotdeauna în cazul fenomenelor statistice, energiile particulelor individuale pot prezenta o mare abatere de la valoarea medie. Datorită caracterului întîmplător al ciocnirilor lor reciproce, unele molecule pot atinge pentru un timp scurt viteze mult mai mari, în timp ce altele pot fi temporar încetinite. Utilizînd legile mecanicii statistice, se pot calcula procentele de molecule dintr-un gaz a căror viteză se abate în diverse proporţii de la viteza medie. Această curbă a distribuţiei vitezelor care a fost calculată prima dată de către Maxwell şi care-i poartă numele, este dată în fig. IV-9. O altă noţiune importantă în teoria satistică a gazelor este noţiunea de „drum liber mijlociu", adică distanţa medie străbătută de molecule între două ciocniri. În aerul atmosferic, drumul liber mijlociu al moleculelor este foarte scurt, numai aproximativ 0,000 01 cm, în timp ce, în cazul gazului foarte rarefiat care umple spaţiul interstelar, o moleculă poate străbate multe mile înainte de a se întîlni cu o alta. Scurtimea drumului liber ţine cont de faptul că moleculele, oricît de repede s-ar mişca, au nevoie de un timp destul de lung

ca să străbată camera de la un capăt la altul; de fapt, comportarea lor se aseamănă cu aceea a unui jucător de rugbi cu mingea în braţe, care aleargă către linia de fund şi este prins la aproape fiecare pas de către adversari. Desigur, cîtă vreme jucătorul de rugbi este preocupat să atingă linia de fund şi încearcă tot timpul să alerge spre ea, moleculele au o mişcare lipsită de ţel şi după fiecare nouă ciocnire sar în alte direcţii. Se poate arăta matematic că, în cazul unei astfel de mişcări, cunoscută sub numele „mersul la întîmplare", distanţa medie străbătută după mai mulţi paşi este egală cu lungimea fiecărui pas înmulţită cu rădăcina pătrată din numărul total de paşi, şi nu cu numărul de paşi, aşa cum ar fi trebuit să fie, dacă ei ar fi fost făcuţi în aceeaşi direcţie. Astfel, avem formula:

distanţa străbătută = lungimea pasului $\times \sqrt{\ }$ numărul de paşi.

În cazul moleculelor aerului, lungimea fiecărui pas este 0,000 01 cm, şi dacă ele trebuie să străbată o distanţă, să zicem de 10 m (1 000 cm), formula de mai sus ne indică faptul că numărul total de paşi (întîmplători) trebuie să fie egal cu:

$$\left(\frac{1\,000}{0{,}000\,01}\right)^2 = 10\,000\,000\,000\,000\,000.$$

La viteza de 50 000 cm/s, fiecare pas va fi făcut în $\frac{0{,}000\,01}{50\,000} =$ $= 0{,}000\,000\,0002$ s, astfel încît timpul total va fi $10\,000\,000\,000\,000\,000 \times 0{,}000\,000\,0002 = 2\,000\,000$ s sau 20 zile!

Cum ţine seama teoria cinetică a căldurii de legea de bază a termodinamicii, care afirmă că în toate procesele termice entropia trebuie să crească întotdeauna? Care este înţelesul entropiei din punctul de vedere al teoriei statistice a mişcării moleculare? Cum poate căldura să se scurgă de la corpurile mai fierbinţi la cele mai reci şi de ce nu putem transforma o anumită cantitate de căldură complet în energie mecanică, cîtă vreme la transformarea energiei mecanice în căldură nu apare nici o dificultate? Răspunsul la toate aceste probleme ne apare natural, dacă încercăm să vedem ce se întîmplă cu moleculele în aceste cazuri. Să

luăm un conteiner (vas) împărţit în două jumătăţi printr-un perete termoizolant: să umplem o jumătate cu gaz cald şi cealaltă cu gaz rece şi să scoatem peretele despărţitor. Ce se va întîmpla? Moleculele, care se mişcă rapid, ale gazului cald vor pierde din energia lor prin ciocniri cu moleculele lente ale gazului rece şi procesul acesta se va desfăşura pînă cînd se va ajunge la echipartiţia energiei între toate moleculele, adică la egalitatea temperaturilor în ambele jumătăţi ale conteinerului. Situaţia de mai sus este similară cazului unei găleţi a cărei jumătate de jos este plină cu mărgele negre, iar cea de sus cu mărgele albe. Dacă scuturăm găleata mărgelele se vor amesteca între ele, astfel încît atît cele albe, cît şi cele negre vor fi egal distribuite de la bază pînă la gură. Am putea să le separăm din nou dacă le vom scutura în continuare? Teoretic da. Desigur, nu există nici un motiv pentru ca o astfel de separare să nu aibă loc; însă este foarte puţin probabil ca să se întîmple. Ar trebui să scuturăm găleata timp de secole sau poate de milioane de ani, pînă cînd, dintr-o dată, datorită întîmplării, toate mărgelele negre să se strîngă din nou la bază, iar cele albe deasupra. Acelaşi lucru e adevărat şi în cazul moleculelor. E posibil, în principiu, ca jumătate din molecule să fie încetinite prin ciocnirile întîmplătoare cu mult sub viteza medie, pe cînd cealaltă jumătate să fie corespunzător accelerată. Însă acest lucru este foarte improbabil!

O situaţie similară este şi în cazul transformării energiei în căldură şi invers. Să ne închipuim un glonţ care loveşte un perete de oţel. În timp ce glonţul zboară către ţintă, toate moleculele sale se mişcă împreună în aceeaşi direcţie şi cu aceeaşi viteză (această mişcare comună a moleculelor, se suprapune peste mişcarea lor neregulată, datorită temperaturii iniţiale a glonţului). În momentul în care glonţul este oprit de perete, această mişcare ordonată se transformă în mişcare neregulată a particulelor individuale, făcînd să crească agitaţia termică iniţială a moleculelor care alcătuiesc glonţul şi peretele. Aici ne-am putea imagina din nou procesul invers în care moleculele ce alcătuiesc capătul unei bare de metal încălzite la flacără vor avea, datorită unei şanse neobişnuite, vitezele lor termice orientate în aceeaşi direcţie, astfel că această bucată de metal ar zbura ca şi cînd ar fi fost proiectată pe ţeava unei puşti. Dar, din nou, acest

eveniment ar fi extrem de improbabil. Astfel, vedem că legea creşterii entropiei este afirmarea simplă a faptului că, *în toate procesele naturale, mişcarea organizată a moleculelor are tendinţa de a deveni dezorganizată sau întîmplătoare.* Toate procesele evoluează de la tipul de mişcare moleculară cel mai puţin probabil la cel cu probabilitatea cea mai mare, iar creşterea entropiei corespunde creşterii probabilităţii tipului respectiv de mişcare moleculară.

S-ar putea deduce relaţia dintre probabilitatea tipului dat de mişcarea moleculară şi entropie pe calea propusă pentru prima dată de Ludwig Boltzmann. Să considerăm două sisteme termodinamice, A şi B, care pot fi două vase umplute cu două gaze diferite la două presiuni diferite, sau orice alt sistem mai complicat conţinînd lichide, vaporii acestora, cristale solide, soluţia acestora în lichide etc. Dacă cele două sisteme au aceeaşi temperatură T, şi le punem în contact unul cu altul, nu va avea loc scurgere de căldură în nici o direcţie, şi cele două sisteme vor rămîne în aceeaşi stare în care se găseau cînd erau separate. Să presupunem că o anumită cantitate de căldură se scurge în aceste sisteme dinafară, sistemul A obţinînd Q_A calorii, iar sistemul B, Q_B calorii. Dacă vom considera sistemele separat, creşterea entropiei lor va fi dată de $\frac{Q_A}{T}$ şi $\frac{Q_B}{T}$. Dacă le-am considera ca formînd un singur sistem compus, creşterea totală a entropiei va fi:

$$\frac{Q_A - Q_B}{T}.$$

Dar

$$\frac{Q_A}{T} + \frac{Q_B}{T} = \frac{Q_A + Q_B}{T},$$

de unde tragem concluzia că *entropia unui sistem compus este egală cu suma entropiilor părţilor sale.*

Cum apare acest lucru din punctul de vedere al probabilităţii diferitelor tipuri de mişcare moleculară? Cum s-ar putea exprima această probabilitate pentru un sistem compus, A şi B, în funcţie de probabilităţile lui A şi B luate separat? Conform teoriei matematice a probabilităţilor, *probabilitatea unui eveniment compus* (adică a unui eveniment

care trebuie să satisfacă mai multe condiţii independente) *e dată de produsul probabilităţilor evenimentelor individuale din care este compus*. Astfel, dacă o tînără se duce la o întîlnire cu un necunoscut şi speră că acesta va fi înalt, brunet şi drăguţ, probabilitatea ca speranţele sale să se îndeplinească este produsul probabilităţilor ca să fie înalt, să fie brunet şi să fie drăguţ. Dacă probabilitatea ca un om să fie înalt este $\frac{1}{4}$ (adică unul din patru), să fie brunet $\frac{1}{3}$ şi probabilitatea să fie drăguţ $\frac{1}{50}$, probabilitatea ca toate aceste trei condiţii să se îndeplinească este:

$$\frac{1}{4} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{50} = \frac{1}{600},$$

adică o şansă din 600.

Astfel, vedem că în timp ce într-un sistem termodinamic compus entropiile trebuie adunate, probabilităţile trebuie să fie înmulţite. Ce fel de dependenţă matematică între aceste două categorii de mărimi satisface această condiţie? Desigur, o dependenţă logaritmică, deoarece pentru a înmulţi două numere trebuie să adunăm logaritmii lor. Astfel, entropia trebuie să varieze cu logaritmul probabilităţii şi vom scrie:

$$S = k \ln P,$$

unde k este un coeficient numeric (constanta lui Boltzmann).

Formula de mai sus constituie o punte între termodinamica clasică şi teoria cinetică a căldurii, şi ne permite să calculăm toate mărimile termodinamice pe baza consideraţiilor statistice.

DEMONUL LUI MAXWELL

Un personaj foarte important în fizica statistică este „demonul" lui Maxwell, un produs al imaginaţiei lui James Clerk Maxwell (fig. V-16), care a adus contribuţii multe în acest domeniu al ştiinţei. Să ne închipuim un demon mititel şi foarte activ (fig. IV-10), care poate vedea moleculele individuale şi este destul de rapid ca să le manevreze aşa cum manevrează un campion de tenis mingile. Un astfel de demon

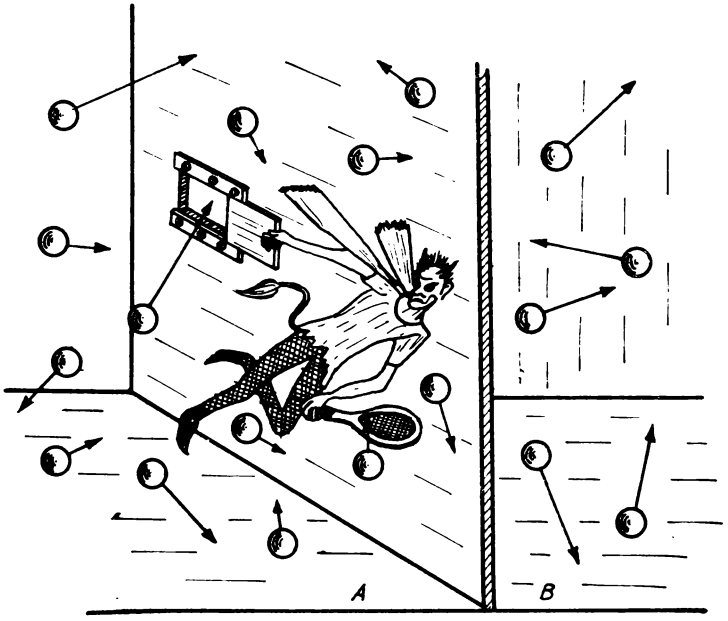


FIG. IV—10 Demonul lui Maxwell care, chipurile, ar putea separa moleculele rapide de cele lente.

ne-ar putea ajuta să învingem legea creşterii entropiei prin manipularea unei mici ferestruici într-un perete ce ar separa două încăperi, *A* şi *B*, în care se află un gaz. Se presupune că oblonul ferestrei lunecă fără frecare şi că demonul îl deschide cînd vede o moleculă rapidă, care se îndreaptă către fereastră şi îl închide cînd molecula ce se apropie este lentă. Astfel, toate moleculele rapide dintr-o distribuţie maxwelliană vor trece în încăperea *B*, în timp ce în *A* vor rămîne numai cele lente. Încăperea *B* va deveni mai caldă, iar *A* mai rece şi căldura va trece în direcţia interzisă, violînd a doua lege a termodinamicii.

De ce nu s-ar putea face lucrul acesta, nu cu ajutorul unui demon adevărat, desigur, ci cu ajutorul unei mici maşinării fizice construite ingenios, care ar acţiona în acelaşi mod? Pentru a înţelege situaţia, să ne amintim problema criptică pusă de către faimosul fizician austriac Erwin Schrödinger

(fig. VII-19) în cartea sa foarte interesantă *Ce este viața?* (Cambridge University Press, 1944): „De ce sînt atît de mici atomii"? La prima vedere, această problemă pare un nonsens, dar ea are sens şi s-ar putea răspunde la ea dacă ar fi inversată şi ar fi formulată: „De ce sîntem noi atît de mari (în comparaţie cu atomii)?" Răspunsul e simplu, pentru că un astfel de organism, atît de complex ca cel uman, cu creier, muşchi etc., nu poate fi construit cu cîţiva atomi, după cum nici o mare catedrală nu poate fi construită din cîteva pietre.

Demonul lui Maxwell, şi orice dispozitiv mecanic care ar încerca să-l substituie, ar trebui să fie construit dintr-un număr mic de atomi şi ar fi absolut imposibil să efectueze o astfel de treabă complicată care i s-ar cere. Cu cît e mai mic numărul de particule, cu atît sînt mai mari fluctuaţiile statistice ale comportării lor. Un automobil căruia i-ar sări una dintre cele patru roţi şi ar deveni volan, în timp ce radiatorul ar deveni rezervor de benzină şi invers, nu este un vehicul care să prezinte garanţie pentru a fi condus! La fel şi demonul lui Maxwell, real sau mecanic, va face atît de multe greşeli statistice la manipularea moleculelor, încît întregul proiect ar eşua complet.

MIŞCAREA TERMICĂ MICROSCOPICĂ

Dimensiunile foarte mari şi foarte mici citate mai sus în legătură cu lumea moleculară sînt rezultatul calculului, deoarece moleculele şi mişcarea lor sînt prea mici pentru a putea fi observate chiar şi cu cele mai bune microscoape. Se întîmplă totuşi ca să putem acoperi intervalul dintre moleculele invizibile şi corpurile mari pe care le întîlnim întîmplător în experienţa noastră de toate zilele, observînd comportarea unei particule foarte mici, cu diametrul de ordinul 1 μ (micron), care pe de o parte e suficient de mică pentru a prezenta mişcarea termică şi, pe de altă parte, suficient de mare pentru a putea fi văzută la un microscop bun. Botanistul englez Robert Brown a fost acela care a observat pentru prima dată că sporii de plante care plutesc în apă nu sînt niciodată în repaus, ci sînt antrenaţi într-un fel de tarantelă, sărind neregulat într-o parte sau alta ca şi cînd ar fi ciocniţi tot timpul de un agent nevăzut (fig. IV-11). Dar nici Brown şi nici oamenii de ştiinţă din timpul său nu au

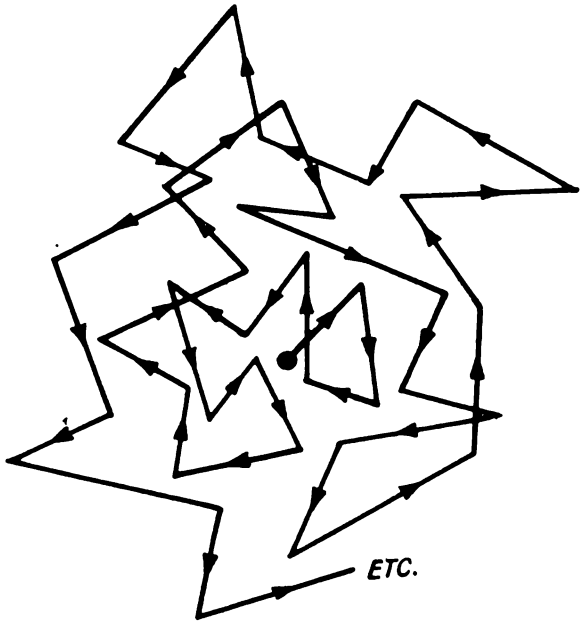


FIG. IV—11 „Mersul la întîmplare" este mişcarea unui corp a cărui direcţie de mişcare se schimbă des şi neregulat ca rezultat al ciocnirilor cu alte corpuri, fie ele molecule care se ciocnesc cu alte molecule, fie un beţivan care se ciocneşte de stîlpii felinarelor. Este evident că într-o astfel de mişcare (deplasare), corpurile înaintează mai puţin decît dacă s-ar mişca în linie dreaptă şi se poate arăta că distanţa medie de la punctul de pornire este, în acest caz, egală cu lungimea fiecărei porţiuni drepte înmulţită cu radical din numărul acestor porţiuni.

putut să explice această comportare agitată a particulelor foarte mici. Abia după un secol ea a fost explicată de fizicianul francez Jean Perrin, ca fiind rezultatul numeroaselor ciocniri pe care aceste mici particule le suferă din partea moleculelor de apă care se află în mişcare termică. Studiile lui Perrin asupra mişcării browniene au constituit o probă indiscutabilă a corectitudinii teoriei cinetice a căldurii şi a permis fizicienilor să observe direct legile statistice ale mişcării, care mai înainte de aceasta erau numai nişte ipoteze teoretice. Teoria matematică exactă a mişcării browniene

a fost dezvoltată de către tînărul Albert Einstein, într-unul din cele trei articole pe care le-a publicat în 1905. Celelalte două erau despre teoria cuantelor de lumină şi despre teoria relativităţii. Azi teoria statistică a căldurii este în general cunoscută sub numele de „fizică statistică" şi, în ceea ce priveşte completitudinea şi claritatea, ea se compară numai cu mecanica lui Newton.

MIŞCAREA TERMICĂ ŞI PROPAGAREA SUNETULUI

Se ştie că sunetul nu este decît o undă de compresie care se propagă prin aer sau prin alte substanţe. Studiile experimentale au dezvăluit un fapt amuzant, anume, că viteza sunetului este independentă de densitatea aerului şi că la nivelul mării este aceeaşi ca cea din atmosfera superioară rarefiată. Pe de altă parte, viteza depinde de temperatura aerului, fiind direct proporţională cu rădăcina pătrată a temperaturii absolute. Cum s-ar putea explica aceste fapte din punctul de vedere al structurii moleculare şi al mişcării termice?

Pentru a putea face acest lucru, să ne amintim că aerul constă dintr-o mulţime de molecule care se mişcă, la întîmplare, prin spaţiu, cu viteze ce cresc cu temperatura. Cînd se emite o undă sonoră de compresie, să zicem de către un diapazon, moleculele din vecinătatea braţelor diapazonului sînt împinse în direcţia mişcării acestora şi, ciocnindu-se de moleculele care se află ceva mai departe (în următorul strat subţire de aer), le comunică acestora impulsul. Acestea, la rîndul lor, împing moleculele din stratul următor şi astfel compresia se propagă prin aer, formînd o undă sonoră. Deoarece moleculele aerului trebuie să zboare o distanţă destul de lungă pînă cînd ajung să ciocnească moleculele din stratul următor (aşa-numitul *drum liber*), viteza de deplasare este determinată, în primul rînd, de viteza termică a moleculelor. Această imagine dinamică explică cele două fapte amintite mai sus în legătură cu viteza sunetului. Desigur, viteza termică a moleculelor rămîne aceeaşi la o anumită temperatură, indiferent cît este de comprimat sau de rarefiat gazul. Pe de altă parte, deoarece energia cinetică a moleculelor e proporţională cu temperatura absolută, viteza lor creşte cu radicalul temperaturii. Şi ceea ce e valabil pentru viteza

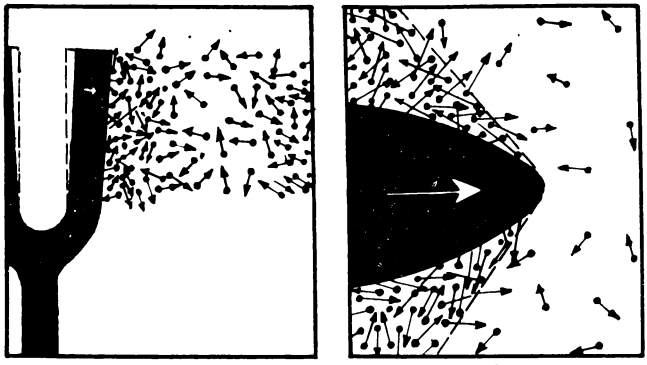


FIG. IV — 12 Formarea unei unde sonore în cazul cînd „împingătorul" se mişcă mult mai încet decît moleculele *(a)*, şi formarea undei de şoc (şoc staţionar) cînd „împingătorul" se mişcă mai repede *(b)*.

moleculelor trebuie, de asemenea, să fie valabil pentru viteza sunetului.

O situaţie complet diferită are loc atunci cînd viteza obiectului care produce compresia în gaz depăşeşte viteza mişcării termice a moleculelor în anumite condiţii date. Aceasta are loc, de exemplu, la gazele fierbinţi, formate într-o explozie, care împing aerul din jur, sau cînd aerul este împins în lături de aripile şi corpul unui avion supersonic sau de o rachetă supersonică. În acest caz, viteza termică a moleculelor nu este destul de mare pentru a scăpa de „împingerea" corpului care avansează şi ele vor fi îngrămădite una peste alta, ducînd şi la o creştere corespunzătoare a densităţii. Diferenţa între acest caz şi cel discutat anterior este ilustrată schematic în fig. IV-12. Frontul care avansează, al gazului puternic comprimat, formează ceea ce se numeşte *unda de şoc*. Din cauza densităţii sale mereu crescînde, unda de şoc capătă în mod corespunzător o mare suprapresiune, care este importantă pentru efectele ei distructive. În cazul exploziilor, expansiunea gazelor fierbinţi scade, compresiunea aerului se separă de „împingător" şi continuă să călătorească ca o undă de şoc. În cazul avioanelor şi proiectilelor super-

sonice care se deplasează cu o viteză constantă, fiind continuu împinse de motoarele lor, unda de şoc rămîne staţionară în raport cu corpul care se mişcă şi se numeşte „Şoc staţionar".

EMISIA LUMINII DE CĂTRE CORPURILE FIERBINŢI

Se ştie că toate corpurile materiale devin luminoase, cînd sînt încălzite la o temperatură suficient de mare. Acesta este modul de producere a luminii cu ajutorul flăcării în vechile lămpi cu petrol; şi acesta este şi modul în care se produce lumina în filamentele fierbinţi ale becurilor electrice moderne cu filament. La scara cosmică, Soarele şi stelele emit lumină, din cauză că suprafaţa lor este foarte fierbinte. Se ştie că şi la o temperatură relativ joasă, ca în cazul sistemului de încălzire a camerei, se radiază căldură, însă nu şi lumină vizibilă. Sobele de bucătărie încălzite la temperaturi de 600 pînă la 700°C devin de un „roşu aprins", radiind o lumină slabă roşie. Filamentul unui bec electric, încălzit la o temperatură de peste 2 000°C, emite o lumină strălucitoare, care totuşi pare gălbuie în comparaţie cu lumina unui strălucitor arc electric ce funcţionează la o temperatură cuprinsă între 3 000 şi 4 000°C. Suprafaţa Soarelui, care are o temperatură de aproximativ 6 000°C, emite o lumină mai bogată în radiaţii albastre decît lumina emisă de sursele amintite mai înainte. Astfel, *cu creşterea temperaturii radiaţia emisă devine din ce în ce mai intensă şi mai bogată în lungimi de undă mai scurte*. În fig. IV-13 este prezentată distribuţia observată a intensităţii dintre diferitele lungimi de undă ale radiaţiilor emise de corpurile materiale la diferite temperaturi. La 2 000°K toată energia se află în regiunea lungimii de undă mare cu o intensitate egală cu zero pentru regiunea luminii vizibile, marcată pe figură prin subliniere. La 4 000°K există şi lumină vizibilă emisă, însă intensitatea radiaţiilor roşii depăşeşte cu mult intensitatea radiaţiilor galbene, verzi şi albastre. La 6 000°K (temperatura suprafeţei Soarelui) maximul intensităţii se află în regiunea galbenă a spectrului, iar noi percepem amestecul de culori ca o „lumină albă". La temperaturi încă şi mai mari, maximul intensităţii se deplasează în regiunea radiaţiilor ultraviolete invizibile; şi există stele atît de fierbinţi (de cîteva sute de

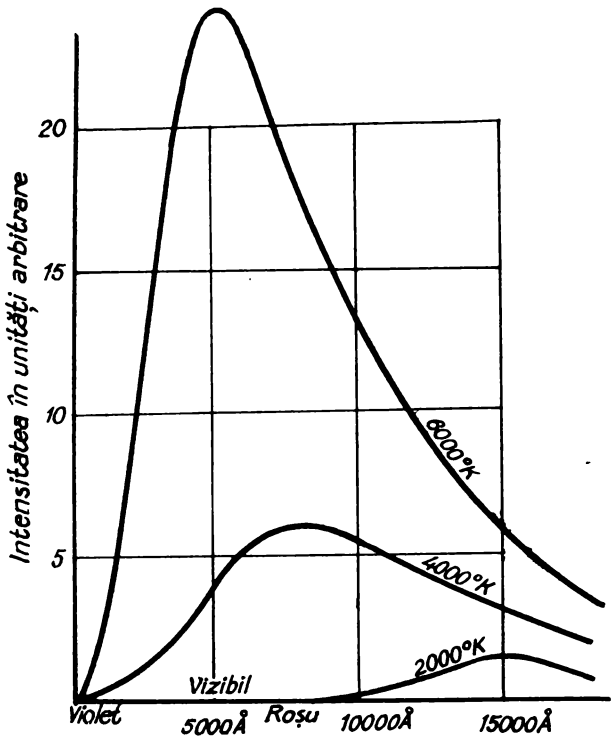


FIG. IV—13 Distribuția de energie într-un spectru continuu emis de către corpuri la trei temperaturi diferite.

mii de grade), încît cea mai mare parte a luminii emise de ele cade în această regiune a ultravioletului invizibil.

Emisia luminii de către corpurile fierbinți este guvernată de două legi importante, descoperite în timpul celei de a doua jumătăți a secolului trecut, astfel:

Legea lui Wien a fost stabilită de fizicianul german Wilhelm Wien (1864—1928). El a afirmat că *lungimea de undă corespunzătoare maximului intensității din spectru este invers proporțională cu temperatura (absolută) a corpurilor emițătoare fierbinți*. Ar fi de observat din fig. IV-13 că, în timp ce la 6 000°K maximul intensității este la 5 000 Å, la temperatura de 2 000°K el se deplasează la 15 000 Å.

Legea Stefan-Boltzmann a fost descoperită de fizicianul german Josef Stefan (1835—1893) şi apoi dedusă teoretic, utilizînd anumite consideraţii termodinamice, de către Ludwig Boltzmann, despre care a mai fost vorba mai înainte. Legea afirmă: *cantitatea totală de energie emisă de un corp fierbinte este proporţională cu puterea a patra a temperaturii sale absolute*. Îndr-adevăr, aria de sub curba notată cu 6 000°K din fig. IV-13 este de $3^4 = 81$ ori mai mare decît aria de sub curba notată cu 2 000°K.

EMISIA LUMINII DE CĂTRE GAZELE FIERBINŢI

Discuţia despre emisia luminii de către corpurile fierbinţi, prezentată în paragraful anterior, se referă la cazul substanţelor solide sau lichide, de exemplu, filamentul de tungsten din becul electric sau oţelul topit într-o turnătorie*. În cazul luminii emise de gaze avem de-a face cu o situaţie complet diferită. Dacă privim printr-o prismă lumina emisă de un gaz (sau de o lampă cu petrol), vom observa un spectru continuu care se întinde de la roşu la violet. Însă se poate arăta că acest spectru continuu nu se datoreşte gazelor fierbinţi din flacără, ci mai degrabă particulelor solide de funingine care se află acolo. Dacă am realiza o ardere completă a gazului, de exemplu, în becul Bunsen, realizat de fizicianul german Robert Wilhelm Bunsen (1811—1899), am obţine o flacără care, fiind foarte fierbinte, emite puţină lumină. Bunsen a utilizat becul său pentru studiul emisiei diferitelor substanţe aflate în stare gazoasă. Dacă introducem în flacăra unui bec Bunsen o mică cantitate de sodiu (care poate fi şi sub formă de clorură de sodiu, adică sare de bucătărie obişnuită), flacăra devine galbenă strălucitoare. Analizînd această lumină cu ajutorul unei prisme, după vechea metodă a lui Isaac Newton, se constată că spectrul constă dintr-o singură linie galbenă, iar toate celelalte lungimi

* Materia solară se află într-o stare gazoasă, din cauza temperaturii foarte mari, care urcă de la 6 000° K, cît este la suprafaţă, pînă la 20 000 000°K, în centru. Cu toate acestea, exceptînd un strat subţire din exterior, cunoscut sub numele de cromosferă, gazele care formează Soarele sînt comprimate la o densitate comparabilă cu aceea a unor solide sau lichide obişnuite şi de aceea emit un spectru continuu.

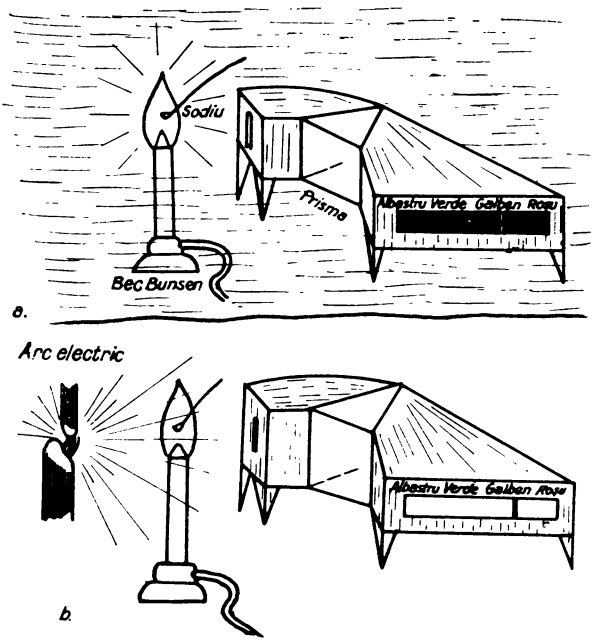


FIG. IV — 14 *a* — sodiul introdus într-o flacără fierbinte emite o linie galbenă caracteristică; *b* — cînd lumina albă de la un arc electric, care conţine toate lungimile de undă, trece printr-o flacără ce conţine sodiu, atunci va apărea o linie neagră de absorbţie în locul unde mai înainte era emisă linia lui strălucitoare.

de undă sînt absente (fig. IV-14*a*). O experienţă similară cu potasiu, care dă flăcării o culoare roşie, strălucitoare, prezintă o linie roşie undeva, mai departe, în partea dreaptă a spectrului. Alte substanţe aflate sub formă de vapori în flacăra fierbinte a becului Bunsen dau naştere altor linii, uneori singure, alteori în număr mai mare.

De ce oare gazele fierbinţi emit lumină cu lungimi de undă strict alese (sau, ceea ce este acelaşi lucru, de frecvenţe strict determinate), în timp ce corpurile solide şi lichide fierbinţi emit toată gama de lungimi de undă, formînd un spectru continuu? Vom vedea, mai departe, în carte că un atom sau o moleculă pot fi comparate cu un instrument muzical, singura diferenţă fiind că emit unde luminoase în loc de unde

sonore. Un instrument muzical, fie el un modest diapazon sau un pian mare, este astfel construit, încît produce numai un anumit grup de frecvenţe sonore (una, în cazul diapazonului, mai multe în cazul pianului mare) care, vibrînd una după alta, formează o melodie. Atomii şi moleculele, de asemenea, emit o anumită selecţie de unde luminoase, tipice pentru fiecare dintre ei. În gaze, atomii sau moleculele aleargă liber în spaţiu (în care se află gazul), ciocnindu-se din cînd în cînd unii cu alţii. După fiecare ciocnire, ei sînt „excitaţi" (dacă temperatura este destul de ridicată) şi, zburînd în continuare, vibrează şi emit lumină de lungimile de undă caracteristice lor. Astfel, vaporii de sodiu, de cupru, de fier sau indiferent de ce altceva emit linii spectrale caracteristice după care pot fi recunoscuţi. În solide, pe de altă parte, atomii sînt strîns înghesuiţi, ca şi cum într-un sac mare ar fi îngrămădite, talmeş-balmeş, toate instrumentele unei orchestre simfonice. Dacă scuturăm sacul, vom auzi zgomote ce conţin toate frecvenţele auditive, dar care nu au nimic de-a face cu proprietăţile caracteristice ale instrumentelor din el. La fel, atomii îngrămădiţi într-o bucată de metal sau într-o altă substanţă solidă (sau lichidă) îşi pierd înfăţişarea lor pură şi astfel, de pildă, lumina emisă de fierul încălzit la roşu nu diferă prea mult de cea emisă de cupru sau de altă substanţă, încălzite la roşu.

Specificitatea luminii emise de diferite substanţe reprezintă baza unei importante metode de analiză spectrală care ne permite să găsim compoziţia chimică a oricărei substanţe date, în mod simplu, prin observarea luminii emise de vaporii respectivei substanţe.

ABSORBŢIA LUMINII

Să ne întoarcem la experienţa noastră cu un bec Bunsen (fig. IV-14*a*) a cărui flacără conţine o oarecare cantitate de sodiu. Să presupunem că punem în spatele flăcării o sursă foarte puternică de lumină care conţine un spectru continuu, de exemplu, un arc electric (fig. IV-14*b*). Lumina care vine de la electrodul alb al arcului fierbinte va trece prin flacără şi, căzînd pe fantă, va forma în spectroscop o bandă în culorile curcubeului. Vom observa însă că continuitatea culorilor este întreruptă de o linie îngustă, întunecată chiar în locul

unde se afla linia galbenă a sodiului. Acest efect se datorește unui important fenomen numit *rezonanță*, care se produce în toate cazurile în care avem de-a face cu un anumit fel de oscilație. Să luăm, de pildă, cazul unui copil, care, ducîndu-se la plimbare cu tatăl său în parcul de distracții, se dă în leagăn. Dacă tatăl împinge leagănul ritmic la intervale de timp egale cu însăși perioada de oscilație a leagănului, amplitudinea mișcării va deveni din ce în ce mai mare și copilul va fi ori încîntat, ori speriat. Dar dacă tatăl, privind distrat la vreo doică drăguță de prin apropiere, nu va lansa împingerile la perioade potrivite, eforturile sale vor fi în van. Uneori va împinge leagănul cînd acesta pleacă de la el și atunci va fi bine, dar alteori îl va împinge tocmai cînd acesta vine spre el, încurcînd astfel lucrurile. Pentru a crește amplitudinea unei oscilații trebuie ca forța să fie aplicată într-o perioadă egală cu perioada de oscilare a obiectului respectiv. Dacă vom pune două diapazoane identice aproape unul de altul, și-l vom face pe unul dintre ele să vibreze lovindu-l cu un ciocan, undele sonore care pleacă de la el îl vor aduce rapid în stare de vibrație și pe celălalt diapazon. Dacă însă cele două diapazoane au perioade de vibrație diferite, nu se va întîmpla nimic. La fel, pentu a acorda un receptor radio sau de televiziune pe postul dorit se învîrtește butonul pînă cînd frecvența de vibrație a receptorului ajunge să fie egală cu cea a stației de emisie.

Experiența noastră cu flacăra care conține sodiu face parte din aceeași categorie. Atomii de sodiu sînt în rezonanță cu aceste lungimi de undă particulare din spectrul continuu al arcului, pe care ei înșiși pot să le emită și să le împrăștie în toate direcțiile, slăbind în felul acesta fasciculul inițial. În acest caz, linia neagră de absorbție nu este, desigur, complet neagră. Ea ar putea fi chiar mai strălucitoare decît linia inițială de emisie, cu toate acestea pare întunecată în contrast cu alte părți ale spectrului continuu al arcului. Legea care afirmă că *toate substanțele absorb aceleași frecvențe de lumină pe care ele pot să le emită* a fost descoperită de fizicianul german Gustav Kirchhoff (1824—1887) și îi poartă numele. Această lege este foarte importantă în multe domenii ale fizicii, chimiei și astronomiei. Una dintre cele mai importante aplicații ale ei o constituie studiul compoziției chimice a Soarelui și a celorlalte stele.

La începutul secolului al XIX-lea, fizicianul german Joseph von Fraunhofer (1787—1826), repetînd experienţele lui Newton asupra spectrului solar cu ajutorul unei prisme de o calitate cu mult mai bună, a fost surprins atunci cînd a constatat că banda colorată a curcubeului era intersectată de mai multe linii negre, foarte subţiri. Originea acestor „linii ale lui Fraunhofer" poate fi uşor înţeleasă pe baza a ceea ce s-a spus mai înainte în cadrul acestui paragraf. Am afirmat că, deşi Soarele e format în întregime dintr-o substanţă gazoasă, el emite totuşi un spectru continuu, pur şi simplu pentru că atomii sînt atît de îngrămădiţi, încît „nu au loc să se mişte fără să se încurce de competitorii vecini". Însă ultimul strat exterior al Soarelui, cunoscut sub numele de cromosferă, este format din gaze fierbinţi foarte rarefiate, care *trebuie* să dea naştere liniilor optice pure. Cînd spectrul continuu din *fotosferă* (partea densă a Soarelui) trece prin cromosferă, lungimile de undă care corespund elementelor chimice prezente acolo sînt absorbite sau împrăştiate şi, de aceea, liniile întunecate ale lui Fraunhofer apar în curcubeul de la început fără nici o pată. Utilizarea analizei spectrale în astronomie a făcut posibilă realizarea unui progres uimitor în cunoştinţele noastre privitoare la Soare şi stele, şi a deschis ochiului omenesc perspective nelimitate asupra universului în care trăim. În planşa II este reprodus spectrul Soarelui descoperit de Fraunhofer; partea vizibilă *(a)* şi ultravioletul îndepărtat *(e)*, au fost obţinute cu ajutorul unor instrumente moderne.

V

Epoca electricității

PRIMELE DESCOPERIRI

Așa cum am arătat în capitolul întîi, fenomenele electricității și magnetismului erau cunoscute de grecii antici și, probabil, și de restul lumii antice. Totuși primele studii sistematice ale acestor fenomene au fost întreprinse numai la începutul renașterii artelor și științelor. Sir William Gilbert, medicul personal al reginei Elisabeta I și contemporanul lui Galilei, a efectuat studii asupra interacțiunilor magnetice, publicîndu-și rezultatele în cartea sa, *De Magnete*, care conține o descriere a tuturor proprietăților calitative, esențiale, ale magneților. Gilbert era un partizan entuziast al sistemului copernican al lumii și credea că forțele care fac ca planetele să aibă o mișcare orbitală în jurul Soarelui ar putea fi explicate ca fiind rezultatul atracției magnetice. Pentru a putea observa aceste probleme mai îndeaproape, el a construit niște sfere de magnetit (un minereu de fier magnetic) și a studiat cîmpul din jurul lor cu ajutorul unor minuscule ace de busolă plasate în jurul sferelor în diferite poziții și la diferite distanțe. El a găsit că într-un anumit punct de pe sferă există un maxim de atracție al unuia dintre capetele acului, iar la punctul opus, un maxim de atracție al celuilalt capăt al acului. În diferitele puncte de pe suprafața sferei, acul se orientează întotdeauna, de la sine, într-o poziție bine determinată, de-a lungul unui cerc mare care unește punctele de maximă atracție sau polii magnetici ai sferei. Fenomenul se aseamănă izbitor cu comportarea acelor busolei în diferite puncte de pe suprafața Pămîntului și Gilbert a tras concluzia că globul nostru teres-

tru ar putea fi considerat un magnet gigantic, cu polii situaţi în apropierea polilor nord geografic şi sud geografic. Această idee a supravieţuit secolelor fiind dezvoltată pe cale matematică de marele matematician german Karl Friedrich Gauss şi considerată azi o noţiune de bază în teoria magnetismului terestru. Pe de altă parte, încercarea lui Gilbert de a pune pe seama forţelor magnetice mişcarea planetelor în jurul Soarelui a eşuat complet, iar după o perioadă ceva mai mare de o jumătate de secol, Newton a explicat această mişcare cu ajutorul forţelor gravitaţiei universale, care nu au nimic de-a face cu magnetismul.

Pe cînd Newton îşi concepuse deja ideile sale asupra gravitaţiei universale — pe care le ţinea însă în secret — fizicianul german Otto von Guericke, binecunoscut pentru experienţele sale cu aşa-numitele emisfere de la Magdeburg (două emisfere de metal reunite ca să formeze o sferă din interiorul căreia s-a scos aerul, emisfere care nu puteau fi separate nici dacă erau trase, în direcţii opuse, de cîte o pereche de cai) a încercat să explice atracţia dintre planete şi Soare cu ajutorul interacţiunilor electrice. Deşi afirmaţiile lui au fost sortite eşecului, la fel ca şi Gilbert, el a făcut totuşi multe descoperiri importante referitoare la proprietăţile sarcinilor electrice. Astfel, a găsit că frecînd chihlimbarul (cu o bucată de stofă. — *N.T.*), acesta atrage şi ridică obiectele uşoare, de pildă, bucăţi mici de hîrtie, şi că două corpuri uşoare care au fost atinse cu chihlimbarul frecat se vor respinge. El a mai descoperit că o sarcină electrică poate fi transferată de la un corp la altul nu numai prin contact direct, ci şi cu ajutorul unei sfori umede sau, şi mai bine, cu o sîrmă metalică întinsă între ele. Cercetările ulterioare asupra fenomenelor electrice efectuate de Du Fay, la începutul secolului al XVIII-lea, au dus la descoperirea celor două feluri de electricitate: cea produsă prin frecarea chihlimbarului, a cerii pentru sigiliu, a cauciucului dur şi a altor substanţe răşinoase, şi cea produsă prin frecarea substanţelor vitroase, de pildă, sticlă sau mică. Aceste două feluri de fluide electrice au fost denumite „răşinos" şi „sticlos" (vitros); totodată s-a stabilit că sarcinile electrice de acelaşi fel se resping, iar cele de semn contrar se atrag reciproc. Se presupunea că corpurile neutre, din punct de vedere electric, conţin cantităţi egale din ambele fluide electrice în

timp ce corpurile încărcate electric au un exces fie de electricitate răşinoasă, fie sticloasă. Fenomenul, observat pentru prima dată de Otto von Guericke, a fost pus pe seama interacţiunii dintre cele două feluri de fluid electric. Să presupunem că frecăm o sferă de cauciuc dur pînă cînd devine încărcată cu electricitate răşinoasă. Dacă în vecinătatea ei aducem un mic corp neîncărcat — în care ambele feluri de electricitate sînt echilibrate — electricitatea răşinoasă va fi împinsă către capătul îndepărtat al corpului, în timp ce electricitatea sticloasă va fi atrasă spre extremitatea mai apropiată. Deoarece interacţiunile electrice scad cu distanţa, forţa de atracţie care acţionează asupra sarcinilor electrice vitroase va fi mai mare decît forţa repulsivă care acţionează asupra sarcinilor electrice răşinoase şi efectul net va fi atracţia dintre cele două corpuri. Dacă, în locul sferei de cauciuc dur, luăm o sferă de sticlă, rezultatul va fi acelaşi, cu excepţia faptului că V (electricitatea vitroasă sau sticloasă) şi R (electricitatea răşinoasă) vor fi schimbate între ele. Astfel, corpurile neutre vor fi întotdeauna atrase de către corpurile încărcate. Fenomenul separării sarcinilor electrice într-un corp care iniţial nu era încărcat este cunoscut sub numele de „polarizare" sau „inducţie" electrică. Dacă două corpuri mici le punem în contact cu un corp mare şi încărcat electric, ele se vor încărca cu acelaşi fel de electricitate şi se vor respinge reciproc.

Încă de la începutul acestor studii asupra fenomenelor electrice au fost realizate două dispozitive electrice importante: *electroscopul cu foiţe* şi *butelia de Leyda*. Electroscopul (fig. V-1*a*), un instrument care arată prezenţa sarcinilor electrice, a fost construit pentru prima dată în 1705 de către Haukesbee şi consta din două fire de pai suspendate, unul lîngă altul, la capătul de jos al unei bare de metal. Cînd bara era încărcată fie cu electricitate răşinoasă, fie sticloasă, ambele fire de pai se încărcau cu acelaşi fel de electricitate şi se îndepărtau unul de altul. Acest instrument se mai foloseşte şi azi, cu singura diferenţă că firele de pai sînt înlocuite cu foiţe de aur mult mai uşoare. Butelia de Leyda (fig. V-1*b*), construită în 1745 de un grup de oameni de ştiinţă de la Universitatea din Leyda (Leiden, Olanda), a fost realizată anume ca să acumuleze mari cantităţi de electricitate. Ea se compunea dintr-o butelie cilindrică de sticlă obişnuită, al

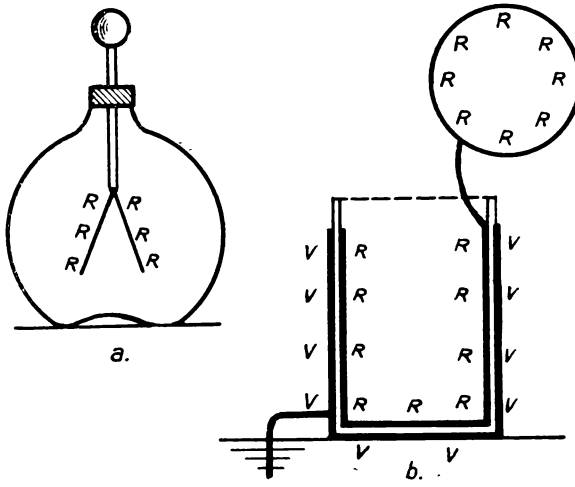


FIG. V—1 *a* — electroscop cu foiţe; *b* — butelia de Leyda.

cărei interior şi exterior erau acoperite cu o foiţă subţire de argint. Dacă foiţa exterioară este conectată la pămînt, iar cea interioară este conectată la un corp încărcat cu electricitate sau invers, electricitatea (fie răşinoasă, fie vitroasă) încearcă să se scurgă în pămînt, dar este oprită de stratul de sticlă. Astfel, în butelie se acumulează o mare cantitate de electricitate şi pot fi produse scîntei puternice prin conectarea foiţei interioare cu cea exterioară cu ajutorul unei sîrme. Vechea formă a buteliei de Leyda a evoluat, azi fiind înlocuită cu diferitele tipuri de condensatoare, constînd dintr-un număr mare de plăci de metal separate prin straturi înguste de aer, sticlă, sau mică. Astfel de condensatoare, care pot să acumuleze o foarte mare cantitate de electricitate, sînt folosite în toate ramurile fizicii, electronicii şi electrotehnicii. În special, primul spărgător de atomi*, construit în 1930, la Universitatea din Cambridge, de către John Cockroft şi E.T.S. Walton, consta dintr-o baterie de astfel de condensatoare, care pot fi încărcate pînă la 1 000 000 V.

* *Atom smasher* — spărgător de atomi; denumire folosită pentru acceleratorii care dau un fascicul de particule accelerate ce pot fi utilizate la sfărîmarea atomilor. -*N.T.*

Cînd condensatoarele erau descărcate prin tubul de sticlă ce conţinea hidrogen se produceau „proiectile atomice" de o energie atît de mare încît, ciocnind ţinta de atomi de litiu de la unul dintre capetele tubului, îi spărgea în două.

Aceleiaşi perioade îi aparţin şi lucrările marelui om de stat şi scriitor american Benjamin Franklin, care a început să se intereseze de fizică la matura vîrstă de 40 de ani. El nu era de loc satisfăcut de micile scîntei pe care le putea obţine prin frecarea unui galoş cu o haină de blană şi de aceea dorea să se joace cu scînteile mult mai mari pe care Zeus le arunca din nori în timpul furtunilor cu trăsnete. Astfel, el a înălţat zmeii spre norii de furtună pentru a le colecta electricitatea. Sfoara umedă care ţinea zmeul era un ideal conducător de electricitate şi Franklin putea astfel să încarce buteliile de Leyda, obţinînd scîntei cu ajutorul lui. Studiile sale, adunate în cartea *Experimente şi observaţii asupra electricităţii făcute la Philadelphia în America** (1753), i-au adus titlul de membru al Societăţii Regale din Londra şi membru asociat al Academiei Regale de Ştiinţe din Paris. Implicîndu-l pe Zeus în experimentele sale, el nu a obţinut rezultate tot atît de bune în interpretarea teoretică a fenomenelor, introducînd ipoteza unui singur fluid electric. El a postulat că electricitatea „vitroasă" era unicul fel de fluid electric şi că cele două feluri de electrizare corespund *excesului* sau *absenţei* acestui fluid imponderabil. Ca atare, el a denumit corpul cu *exces* de electricitate vitroasă (cum ar fi, de pildă, bastonul de sticlă frecat), încărcat *pozitiv*, iar corpul în care fluidul este *absent* (cum ar fi bastonul de cauciuc frecat), încărcat *negativ*. Cînd două corpuri, unul cu exces, iar celălalt cu deficit al fluidului electric (electricitate vitroasă), sînt puse în contact direct, curentul electric ar trebui să se scurgă de la primul corp, unde este în exces, către cel de al doilea, unde este în deficit. Aceste idei ale lui Benjamin Franklin au dus la o terminologie modernă, după care curentul electric se scurge de la electrodul pozitiv (anodul) spre electrodul negativ (catodul). Acum putem să ne dăm seama că ideile lui Du Fay asupra celor două fluide electrice sînt mai aproape de realitate decît cele ale lui Fran-

---

* *Experiments and Observations on Electricity Made at Philadelphia in America.*

klin, deşi situaţia este mult mai complicată decît şi-au închipuit-o ei. Există atît particule încărcate pozitiv, cît şi particule încărcate negativ, şi pentru fiecare particulă care poartă o sarcină pozitivă sau negativă normală există o „antiparticulă" corespunzătoare, ce poartă o sarcină de semn contrar. Franklin a fost mai aproape de adevăr în cazul curentului electric din firele metalice, unde transportul electricităţii se datoreşte exclusiv mişcării electronilor, exceptînd însă faptul că electronii poartă electricitate răşinoasă şi nu vitroasă. Uneori se mai fac propuneri şi azi ca numele electricităţii pozitive şi negative să fie schimbate între ele, astfel încît direcţia convenţională a curentului de la + la — să coincidă cu direcţia în care se mişcă electronii. Şi chiar dacă s-ar face aceasta, tot am mai avea dificultăţi cu acceleratorii, care bombardează cu protoni de energie înaltă ţintele atomice; în loc să iasă din accelerator, curentul electric se va scurge de la ţintă în accelerator. Iar în cazul lichidelor, unde electricitatea este transportată în mod egal atît de ionii pozitivi, cît şi de cei negativi, care se mişcă în direcţii opuse, o astfel de schimbare de terminologie n-ar ajuta la nimic.

LEGEA FORŢELOR ELECTRICE ŞI MAGNETICE

În cea de a doua jumătate a secolului al XVIII-lea, fizicieni din multe ţări au fost angajaţi în studii cantitative asupra forţelor electrice şi magnetice. Una dintre primele descoperiri importante în această direcţie a fost făcută de francezul, Charles Augustin de Coulomb, care a adaptat aşa-numita „balanţă de torsiune" pentru măsurarea unor forţe foarte slabe. Aşa după cum se vede din fig. V-2, care reprezintă o schiţă a acestui instrument realizat de Coulomb, el se compune dintr-o bară uşoară, suspendată cu un fir lung şi subţire, care are la cele două capete două sfere aflate în echilibru. Cînd nu acţionează nici o forţă asupra sferelor, bara are o anumită poziţie de echilibru. Dacă una dintre sfere este încărcată electric şi în apropierea ei este plasată o altă sferă încărcată, forţa electrică acţionînd asupra sferei mobile va produce rotirea barei în jurul punctului de suspensie pînă cînd tensiunea din fir va echilibra forţa care a provocat mişcarea. Deoarece firul este foarte subţire, o mică

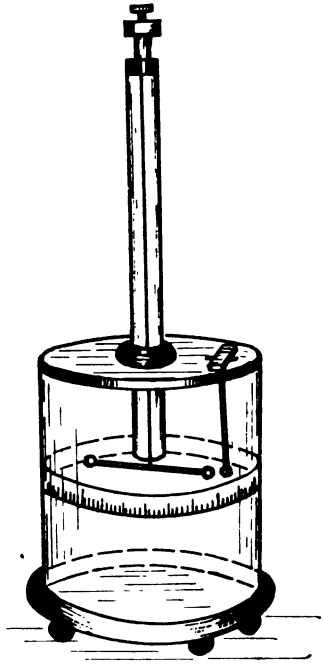


FIG. V—2 Balanţa de torsiune a lui Coulomb.

forţă care va acţiona asupra sferei va produce o deviaţie considerabilă a barei de la poziţia ei iniţială, unghiul de rotaţie fiind proporţional cu forţa. Încărcînd sferele, mobile şi imobile, cu diferite cantităţi de electricitate şi variind distanţa dintre ele, Coulomb a descoperit legea care îi poartă numele, conform căreia forţele de atracţie sau de respingere electrică sînt direct proporţionale cu produsul celor două sarcini şi invers proporţionale cu pătratul distanţei dintre ele (fig. V-3). Utilizînd această lege, se poate defini *unitatea electrostatică de sarcină*, ea fiind acea sarcină care acţionează cu o forţă de 1 dyn asupra unei sarcini identice situate la distanţa de 1 cm. În practică se utilizează o unitate mult mai mare de sarcină electrică, numită coulomb, care este egal cu 3 miliarde de unităţi electrostatice de sarcină. Utilizînd aceeaşi balanţă de torsiune, în care a suspendat un mag-

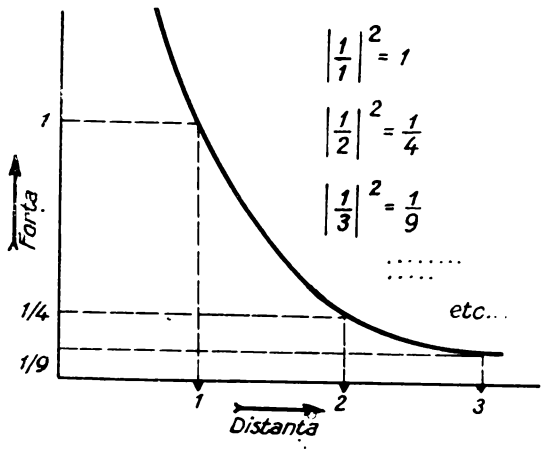


FIG. V—3 Graficul legii lui Coulomb.

net de un fir și având un alt magnet introdus vertical prin partea de sus a cutiei, Coulomb a dovedit că aceeași lege este valabilă și pentru interacțiunile magnetice. La fel, unitatea de magnetizare este definită ca fiind acea intensitate a polului magnetic care atrage sau respinge, cu o forță de 1 dyn, un pol de intensitate egală, plasat la distanța de 1 cm.

Cam în același timp trăia în Anglia un om foarte singuratic, pe nume Henry Cavendish, fiul unui pair* englez. Nu avea prieteni apropiați, îi era teamă de femei, iar cele pe care le avea în serviciul lui, în marea sa locuință din Clapham Common — un sector al Londrei — , primiseră dispoziția să dispară din calea lui; ordinele în legătură cu servitul meselor le lăsa zilnic, în scris, pe masa din hol. Nu-l interesau muzica și nici un alt gen de artă; își petrecea tot timpul efectuînd experiențe de fizică și chimie în laboratorul propriu, situat în marele lui palat. Își întrerupea lucrul numai pentru obișnuitele plimbări, făcute din motive de sănătate sau cu ocazia participării la dineurile clubului Societății Regale pentru a se mai informa asupra lucrărilor altor fizicieni și chimiști. În timpul lungii sale vieți (a murit la vîrsta de 79 ani) a publicat doar cîteva lucrări de o importanță

* Rang nobiliar în Anglia. —*N.T.*

relativ mică. Dar după moarte s-a găsit în contul său de la bancă aproximativ 1 000 000 de lire sterline, iar în laborator 20 de vrafuri cu note care au rămas în posesia rudelor vreme îndelungată. Însă după aproape 100 de ani, cînd au fost publicate, a reieşit clar că Henry Cavendish a fost unul dintre cei mai mari experimentatori care au trăit vreodată. El a descoperit toate legile interacţiunilor electrice şi magnetice, în acelaşi timp cu Coulomb, iar lucrările sale de chimie rivalizează cu cele ale lui Lavoisier. În afară de aceasta, el a folosit o balanţă pentru studiul forţelor gravitaţionale extrem de slabe, care apar între corpurile mici, şi pe baza acestor experienţe a ajuns la valoarea exactă a masei Pămîntului (fig. V-4). În fizică nu există nici o unitate care să-i poarte numele, în schimb Laboratorul Cavendish din Cambridge este unul dintre cele mai renumite centre de cercetări ştiinţifice.

ŞOC DE LA UN ŢIPAR ELECTRIC

Băştinaşii din Africa şi din America de Sud s-au obişnuit de mult cu un peşte ciudat, caracteristic rîurilor tropicale, care produce un şoc dureros celui ce încearcă să-l prindă. Pe la mijlocul secolului al XVIII-lea, o corabie englezească a adus la Londra cîteva exemplare din acest peşte şi biologii au început să-l studieze. S-a aflat atunci că şocul se producea numai cînd se atingeau cu ambele mîini vîrful capului şi partea ventrală a corpului. Acest fapt, ca şi senzaţia de şoc aminteau de efectul buteliei de Leyda, care tocmai fusese descoperită, şi peştele a fost denumit *Sirius electronicus* sau ţiparul electric. Cînd s-a demonstrat că peştele putea fi utilizat pentru încărcarea buteliei de Leyda, nu a mai rămas nici o îndoială că şocul era o descărcare electrică. Electricitatea produsă de peşte a atras atenţia fiziologului italian Luigi Galvani, care studia fenomenul contracţiei musculare a picioarelor de broască, o delicatesă preferată în restaurantele din Bologna. S-a întîmplat ca el să observe (aşa cum afirmă istoria) că picioarele broaştei, separate de corp şi suspendate cu nişte cîrlige de cupru de balustrada de fier a balconului său, se zbăteau, ca şi cum ar mai fi avut viaţă, atunci cînd se atingeau de bara de fier a balustradei. Pentru a face o verificare „în condiţii de supraveghere", Galvani

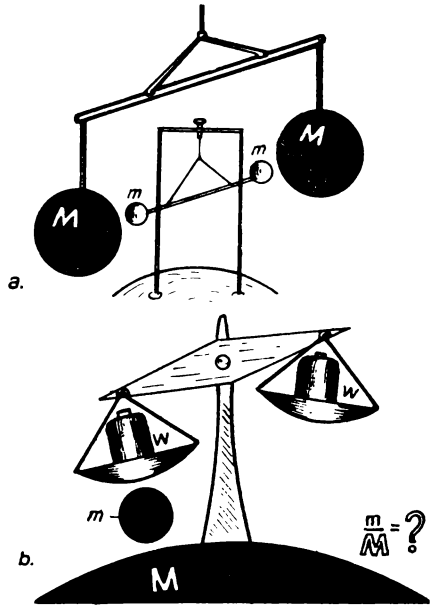


FIG. V—4 Aparatul lui Cavendish pentru măsurarea atracţiei gravitaţionale era similar aparatului lui Coulomb pentru măsurarea forţelor electrice. Schimbînd poziţia a două mase mari *M* suspendate de tavan *(a)* se observă deplasarea celor două mase *m* mai mici, suspendate de un fir foarte subţire; *b* — metoda lui Cavendish modificată; două greutăţi *W*, aflate mai înainte în echilibru sub acţiunea gravitaţiei terestre (masa pămîntului *M*), se mişcă atunci cînd o masă suplimentară, *m*, se plasează sub una dintre ele.

a efectuat o experienţă datată în caietul său de note de laborator cu 20 septembrie 1786. În acest experiment el a folosit o furculiţă cu un dinte de fier şi unul de cupru, cu care el a atins nervul şi muşchiul piciorului broaştei.

Piciorul se contracta la fiecare atingere şi Galvani a fost sigur că această contracţie era similară şocului electric pe care îl provoca ţiparul electric. Dar presupunerea lui era greşită şi, nu după multă vreme, prietenul său, fizicianul italian Alessandro Volta, a demonstrat că acel curent electric care provoca contracţia picioarelor broaştei era, pur şi simplu, un fenomen *anorganic*, care poate fi oricînd observat

atunci cînd capătul unei sîrme — obținută prin sudarea a două sîrme din metale diferite — e introdus într-o soluție apoasă a unei sări. Volta a denumit acest fenomen *galvanism*, în cinstea prietenului său, fiziologul, și a construit ceea ce este cunoscut sub numele de „pila lui Volta", utilizînd un mare număr de discuri de cupru alternate cu discuri de fier sau de zinc și separate prin fîșii de stofă îmbibate în soluția unei sări. Pila lui Volta a fost prototipul bateriilor electrice moderne pe care le folosim azi în lanternele de buzunar și în multe alte aparate. În martie 1800, Volta a trimis manuscrisul în care descria descoperirea sa spre publicare la Societatea Regală din Londra, care în vremea aceea era centrul internațional pentru schimbul ideilor științifice. În această lucrare el scria:

„Da, aparatul despre care v-am vorbit și care, fără îndoială, v-a uimit nu este altceva decît o reunire de buni conductori de diferite feluri, dispuși într-un anumit mod. Sînt 30, 40, 60 sau chiar mai multe bucăți de cupru sau, mai bine, de argint, fiecare așezată după o bucată de cositor sau, ceea ce este și mai bine, de zinc, și un număr egal de pelicule de apă sau de altă umoare (soluție) mai bună conducătoare decît apa simplă, cum ar fi de pildă apa sărată, leșia etc.; sau bucăți de carton, piele etc. bine îmbibate în aceste umori; straturi de acest fel interpuse între fiecare pereche sau combinație de metale diferite, o astfel de succesiune alternativă și întotdeauna în aceeași ordine a acestor trei tipuri de conductori, iată din ce se compune noul meu instrument. El imită, așa cum am mai spus, efectele buteliilor de Leyda sau ale bateriilor electrice, dînd același șoc ca și acestea. Ceea ce este, într-adevăr, cu mult inferior față de bateria încărcată la un înalt grad se referă la forța și zgomotul exploziei, la scînteie și la distanța (dintre electrozi) de la care se produce aceasta etc., izbutind doar să egaleze efectele unei baterii încărcate la un nivel foarte scăzut, ale unei baterii care ar avea o capacitate imensă; dar, în afară de aceasta, ceea ce permite să se depășească cu foarte mult calitățile și puterea acestor baterii este faptul că ele nu trebuie să fie încărcate în prealabil, așa cum se procedează, cu electricitate dinafară; și pentru că este posibil să se producă o descărcare ori de cîte ori se face o atingere (a electrozilor), ori cît de dese ar fi contactele... Eu v-am făcut aici o descriere detaliată a acestui aparat și a unor aranjamente similare, precum și a celor mai importante experiențe care s-ar putea efectua cu acestea".

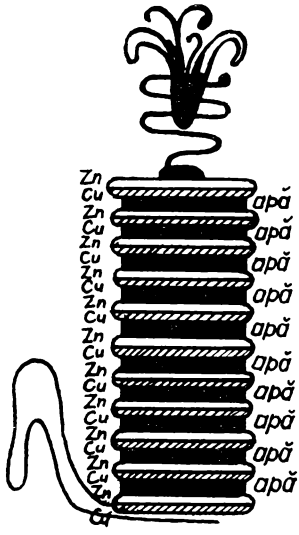


FIG. V—5 Pila lui Volta.

Desenul original al pilei, făcut de el, este arătat în fig. V-5.

Atunci s-a întîmplat un lucru foarte neplăcut. Domnii Carlisle şi Nicholson, care erau însărcinaţi cu publicaţiile Societăţii Regale, au dat uitării manuscrisul şi, repetînd experienţele lui Volta, au publicat rezultatele sub iscălitura lor. Dar înşelăciunea nu le-a reuşit. Rezultatele cercetărilor lui Volta au ajuns să fie cunoscute prin alte surse şi astfel Carlisle şi Nicholson au fost acuzaţi de plagiat ştiinţific, fiind daţi apoi, cu totul, uitării. Azi, *pila lui Volta*, şi *voltul*, unitatea de potenţial electric, readuce mereu în memorie numele talentatului savant italian. *Potenţialul electric* caracterizează gradul de electrizare al corpurilor încărcate. Să presupunem că avem un conductor sferic mare, încărcat cu o anumită cantitate de electricitate şi că dorim să creştem această sarcină. Acest lucru poate fi făcut ţinînd cu un mîner izolat o mică sferă metalică — încărcată cu o anumită cantitate de electricitate — la o anumită distanţă de sfera mare — în mod teoretic la o distanţă infinită — şi apoi aducînd-o în contact cu ea. Din cauza respingerii coulombiene între

cele două sfere va trebui să se efectueze un anumit lucru mecanic, pentru a aduce cele două sfere în contact. Lucrul mecanic care trebuie cheltuit pentru a face să crească sarcina sferei mari cu o unitate de sarcină electrică se numeşte potenţialul său electric. Dacă s-ar măsura sarcina electrică în coulombi şi lucrul mecanic în *jouli*, potenţialul electric va-fi măsurat în *volţi*.

ELECTROMAGNETISM

Poate că primele investigaţii ale fenomenelor electrice şi magnetice au lăsat să se presupună că există o legătură profundă între ele, dar nu au putut să o precizeze. Sarcinile electrice nu influenţau magneţii în nici un fel; nici magneţii nu influenţau sarcinile electrice. Cinstea de a descoperi o punte între electricitate şi magnetism îi revine fizicianului danez Hans Christian Oersted care, auzind despre lucrările lui Volta, şi-a construit o pilă electrică şi a efectuat diferite experimente cu ea. Într-o zi a anului 1820, pe cînd se ducea la cursurile pe care le preda la Universitatea din Copenhaga, lui Oersted i-a venit o idee. Dacă electricitatea statică nu influenţează magneţii în nici un fel, poate că lucrurile ar sta altfel dacă s-ar face o încercare cu electricitatea care trece prin sîrma ce uneşte cei doi poli ai pilei lui Volta. Ajungînd în sala de curs tixită de studenţi, Oersted a pus pe masă pila voltaică şi, legînd cele două borne cu o sîrmă de platină, a pus o busolă în apropierea ei. Acul magnetic, care se presupunea că e orientat întotdeauna în direcţia nord-sud, s-a rotit în jurul axei sale şi s-a oprit într-o poziţie perpendiculară pe sîrmă (fig. V-6). Auditoriul nu a fost de loc impresionat, în schimb Oersted era. După prelegere, el a rămas în sala de curs, încercînd să verifice neobişnuitul fenomen pe care tocmai îl descoperise. La început a crezut că mişcarea acului busolei ar putea fi provocată de curenţii de aer proveniţi de la sîrma încălzită prin curentul electric. Pentru a verifica acest lucru, el a aşezat o bucată de carton între sîrmă şi acul magnetic, oprind în felul acesta curenţii de aer. Dar nu apărea nici o diferenţă. Apoi a răsucit pila voltaică cu 180°, astfel încît curentul trecea acum prin sîrmă în sens contrar. Acul busolei s-a răsucit, de asemenea, cu 180° şi Polul său Nord arăta acum direcţia pe care o arătase

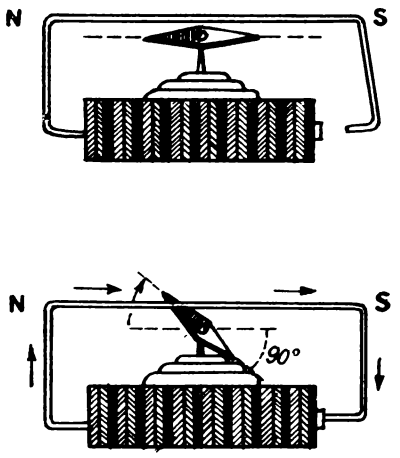


FIG. V—6 Descoperirea interacţiunii dintre un curent electric şi un magnet a lui Oersted.

mai înainte Polul Sud. Era limpede pentru el că exista o interacţiune între magneţi şi electricitatea în mişcare şi că direcţia în care se orienta acul busolei depindea de direcţia în care se deplasa curentul electric prin sîrmă. El a notat totul, aşa cum s-a întîmplat, precum şi observaţiile referitoare la descoperirea făcută şi le-a trimis spre a fi publicate în revista franceză „Annales de Chimie et de Physique". Articolul a apărut către sfîrşitul anului 1820, cu următoarea notă a editorilor:

„Cititorii «Analelor» ne-au sesizat că nu anunţăm cu promptitudine descoperirile extraordinare*, deşi pînă acum nu putem decît să ne felicităm pentru aceasta. Dar în ceea ce priveşte lucrarea domnului Oersted, rezultatele obţinute de el, oricît de singulare ar apărea, sînt întovărăşite de prea multe detalii pentru a da naştere la vreo suspiciune".

Astfel *electromagnetismul*, cum îl numise Oersted, a devenit o realitate!

* Probabil pentru că multe dintre ele erau opera unor excentrici.

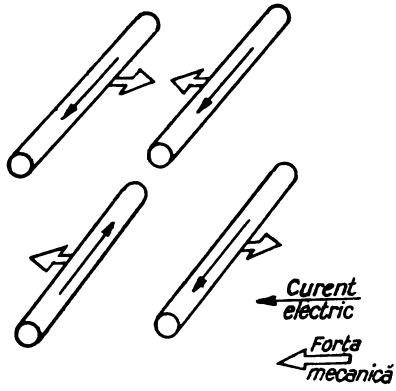


FIG. V—7 Legea interacțiunii dintre curenți a lui Ampère.

Cînd vestea despre descoperirea lui Oersted a ajuns la Paris, ea a atras atenția matematicianului și fizicianului francez André Marie Ampère, care în decursul cîtorva săptămîni a descoperit că nu numai curentul electric acționează asupra acului magnetic, ci și doi curenți electrici acționează unul asupra celuilalt. Dacă două sîrme paralele sînt străbătute, în aceeași direcție, de un curent electric, ele se atrag, iar dacă direcția de curgere a curentului electric este în sensuri contrare, sîrmele se resping (fig. V-7). Ampère a arătat că o bobină din sîrmă de cupru, care se poate roti liber în jurul unui ax vertical, se orientează și ea în direcția nord-sud — exact în același fel ca și acul magnetic al busolei — , dacă trece un curent prin ea și că două astfel de bobine interacționează foarte puternic la fel ca și două bare magnetice. Aceasta l-a condus la ideea că magnetismul natural s-ar datora curentului electric care circulă în interiorul corpului magnetizat. El și-a imaginat că fiecare moleculă de material magnetic conține în interiorul ei un curent circular reprezentînd un minuscul electromagnet. Cînd materialul nu e magnetizat, electromagneții moleculari individuali sînt orientați, la întîmplare, în toate direcțiile și rezultatul final e zero. În corpurile magnetizate, magneții moleculari sînt orientați, cel puțin parțial, într-o singură direcție, provocînd atracția sau repulsia lor magnetică. Aceste păreri ale lui Ampère

sînt complet confirmate de fizica modernă, care consideră proprietăţile magnetice ale atomilor şi moleculelor ca fiind datorate electronilor ce se rotesc în jurul nucleelor sau se învîrtesc foarte repede în jurul propriei lor axe. Deoarece Ampère a fost primul care a formulat clar ideea curentului electric ca mişcare a electricităţii în lungul firului, unitatea de curent electric poartă numele lui. Un *amper* se defineşte ca fiind curentul care transportă un coulomb pe secundă prin secţiunea transversală a sîrmei. Mare savant prin realizările sale, el era totuşi un exemplu clasic de profesor distrat. Se spune că în timpul prelegerilor folosea adesea cîrpa de şters tablă drept batistă; mai circula chiar şi o altă anecdotă, cum că o dată, plimbîndu-se pe străzile Parisului, a luat din greşeală spatele unei trăsuri parcate la marginea trotuarului, drept tablă de scris şi a început să scrie pe ea diferite calcule matematice. Cînd trăsura a pornit, a început să meargă şi el după ea şi apoi să alerge chiar, hotărît să-şi termine demonstraţia. O dată, cînd Napoleon a vizitat Academia din Paris, Ampère nu l-a recunoscut, şi atunci Napoleon i s-a adresat zîmbind: „Vezi, domnule, ce neplăcut e să nu-ţi vezi colegii prea des. Eu nu v-am văzut niciodată la Tuilleries, dar am să ştiu cum să vă forţez ca să veniţi, în cele din urmă, să-mi spuneţi bună-ziua!" Şi l-a invitat să cineze la palat în ziua următoare. Însă a doua zi, la cină, scaunul lui a rămas gol; Ampère uitase invitaţia!

LEGILE CURENTULUI ELECTRIC

În timp ce pe Ampère îl interesau în special efectele magnetice asociate curentului electric, fizicianul german Georg Simon Ohm, pe atunci profesor la o şcoală din Köln, dorea să afle dependenţa intensităţii curentului electric de materialul din care e făcută sîrma prin care se scurge şi de potenţialul electric care îl face să circule. El a utilizat un număr de pile voltaice care, fiind legate în serie, dădeau diferite valori pentru tensiunea electrică, precum şi un galvanometru — construit pentru prima dată de Ampère — care măsura intensitatea curentului electric prin devierea pe care o producea acului magnetic. Utilizînd sîrme de diferite lungimi şi grosimi, făcute din diverse metale, el a găsit că intensitatea curentului este direct proporţională cu secţiunea

transversală a sîrmei, invers proporţională cu lungimea ei şi că depinde de natura materialului din care e făcută. El a găsit, de asemenea, că pentru o sîrmă dată, intensitatea curentului e proporţională cu diferenţa de *potenţial electric* dintre cele două capete, dată de numărul pilelor voltaice legate în serie, care impulsionează curentul electric. Situaţia este similară cazului în care se pompează apă printr-o ţeavă în care se găsesc nişte fibre de sticlă ce opun o rezistenţă trecerii libere a lichidului. În acest caz, de asemenea, intensitatea curentului de apă va creşte cu presiunea furnizată de pompă şi cu secţiunea ţevii, va scădea cu lungimea ţevii şi va depinde de natura şi de cantitatea de material care se află în ţeavă şi care opune o rezistenţă trecerii libere a apei*.

Astfel, Ohm a introdus noţiunea de *rezistenţă* a diferitelor sîrme, stabilind că: intensitatea curentului este direct proporţională cu diferenţa de potenţial electric care dă naştere curentului şi invers proporţională cu rezistenţa sîrmei care, la rîndul ei, depinde de materialul din care e făcută sîrma, fiind direct proporţională cu lungimea şi invers proporţională cu secţiunea ei. În 1827, el şi-a publicat descoperirile făcute, într-un articol intitulat: „*Circuitul galvanic cercetat din punct de vedere matematic*", care a pus bazele tuturor studiilor viitoare asupra circuitelor electrice. Legea lui Ohm poate fi exprimată cu ajutorul a două formule simple:

$$\text{intensitatea curentului} = \frac{\text{diferenţa potenţialului electric}}{\text{rezistenţa sîrmei}}$$

şi

$$\text{rezistenţa sîrmei} = C\,\frac{\text{secţiunea sîrmei}}{\text{lungimea sîrmei}},$$

unde C este o constantă caracteristică pentru fiecare material utilizat. În cinstea lui, unitatea de rezistenţă electrică se numeşte *ohm*, reprezentînd rezistenţa care la o diferenţă de potenţial de 1 V lasă să treacă un curent de 1 A. Uneori în loc de rezistenţă electrică se vorbeşte de conductivitatea

* Această analogie este suficient de compatibilă cu imaginea modernă a curentului electric din sîrmele de metal; curentul ar fi produs de un flux de aşa-zişi electroni liberi, care se deplasează sub acţiunea tensiunii electrice printre atomii, destul de înghesuiţi, care formează metalul.

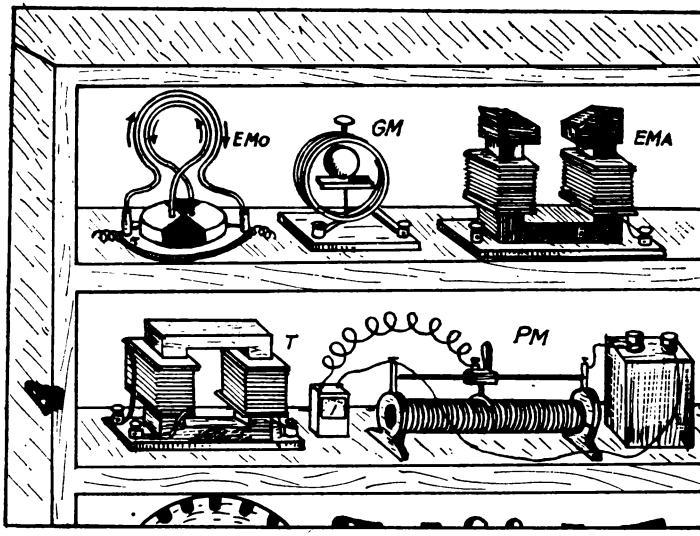


FIG. V—8 *Electromotor (EMo)*. Curentul electric trecînd în direcţii opuse prin două sîrme circulare, una mobilă şi alta fixă, forţa de repulsie a lui Ampère, care va rezulta, va face ca sîrma mobilă să se rotească în jurul axei. Totuşi, datorită sistemului cu contact alunecător de la baza discului, direcţia curentului se schimbă şi sîrma e forţată să se mişte în continuare.
Galvanometru (GM.). La trecerea unui curent electric printr-o bobină, un mic magnet suspendat de un fir subţire se roteşte deviind de la poziţia sa iniţială. Cu cît e mai intens curentul, cu atît e mai mare unghiul de deviaţie, care se măsoară cu ajutorul unui fascicul de lumină reflectat de o mică oglindă.
Electromagnetul (EMa). Cînd se trece un curent continuu printr-o bobină apare un puternic cîmp magnetic între cei doi poli.
Transformatorul (T). După ce trece un curent alternativ de o anumită tensiune printr-o bobină cu un număr mic de spire *(stînga)* se obţine un curent la o tensiune mai mare în bobina cu număr mai mare de spire făcute dintr-o sîrmă subţire *(dreapta)*.
Potenţiometrul (PM). Se trece un curent de la o baterie printr-un reostat. Se poate varia tensiunea de la o sîrmă ataşată unui contact alunecător prin mişcarea acestuia la dreapta sau la stînga.

electrică, aceasta fiind însă chiar inversul ei. Unitatea de conductivitate electrică corespunzătoare se numeşte *mho* şi este inversul lui ohm. Fig. V-8 prezintă diferite aparate electrice care se utilizează în experienţele cu fenomene electrice.

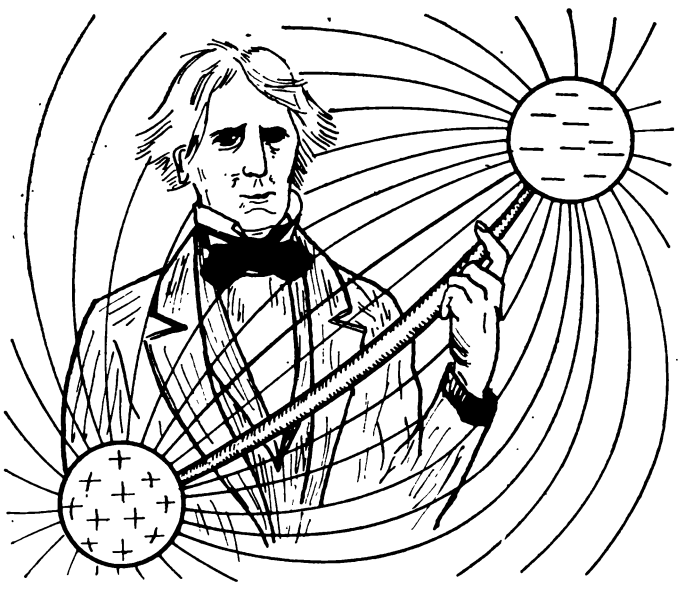


FIG. V—9 Michael Faraday şi tuburile sale.

DESCOPERIRILE LUI FARADAY

Michael Faraday (fig. V-9), care a dus cercetările asupra fenomenelor electrice şi magnetice pe cele mai înalte culmi şi a deschis o nouă eră, pe care o numim azi „fizica modernă", s-a născut în 1791, lîngă Londra, în familia unui fierar. Familia lui fiind prea săracă pentru a-l ţine la şcoală, la vîrsta de 13 ani el a intrat ca băiat de prăvălie la librăria unui oarecare domn Riebau. Un an mai tîrziu, domnul Riebau l-a primit ca ucenic la legatul cărţilor pe termen de şapte ani. Faraday nu numai că lega cărţile care veneau în prăvălie, dar pe multe dintre ele le citea de la un cap la altul, ceea ce i-a trezit un interes arzător pentru ştiinţă. Iată ce scria Faraday despre tinereţea lui:

„Pe cînd eram ucenic, îmi plăcea să citesc cărţile de ştiinţă care imi cădeau în mînă, şi dintre ele m-au delectat *Discuţii despre chimie* de Marcet şi tratatul despre electricitate din *Enciclopedia britanica*.

Făceam experienţele simpe pe care mi le puteam permite, cheltuind cîţiva pence pe săptămînă; de asemenea am construit un dispozitiv electric, la început cu o fiolă de sticlă şi mai apoi cu un cilindru adevărat, ca şi alte aparate asemănătoare".

În timpul ultimului an de ucenicie, cînd a împlinit 20 de ani (şi cînd descoperirile lui Galvani şi Volta erau încă noi), el îi scria vechiului său prieten Benjamin Abbot:

„Am făcut recent cîteva experienţe galvanice simple, pentru a-mi ilustra mie însumi primele principii ale ştiinţei. Am fost la decorator ca să fac rost de ceva nichel şi mi-am reamintit că ei ar avea ceva zinc maleabil. Am cerut şi am cumpărat puţin — ai văzut vreodată aşa ceva? Prima cantitate pe care am obţinut-o era sub formă de piese extrem de subţiri — şi, bagă de seamă, sub formă plată. Era, după cum mi-au spus ei, destul de subţire pentru un baston electric, sau cum l-am numit eu mai înainte, coloana electrică a lui De Luc. L-am obţinut cu gîndul să-mi confecţionez nişte discuri din care împreună cu ceva cupru să fac o mică baterie. Prima pe care am făcut-o conţinea numărul imens de şapte perechi de plăci!!! şi de imensa dimensiune a unei monezi de jumătate de pence fiecare!!!

Eu, domnule, eu însumi am tăiat şapte discuri de mărimea unei jumătăţi de pence fiecare. Eu, domnule, le-am acoperit cu şapte jumătăţi de pence, şi am interpus între ele şapte sau, mai exact, şase bucăţi de hîrtie îmbibată într-o soluţie de clorură de sodiu!!! Dar nu mai rîde dragă A; mai bine minunează-te de efectul pe care această putere obişnuită îl produce. Ea era suficentă pentru a produce descompunerea sulfatului de magneziu — un efect care pe mine m-a surprins extrem de mult; pentru că nu ştiam, nu îmi închipuiam că putea să se întîmple aşa ceva. Mi-a venit o idee; ţi-o voi spune. Am făcut legătura între partea de sus şi de jos a pilei şi soluţia cu sîrma de cupru. Poţi să-ţi închipui că sulfatul pămîntos era descompus de către cupru, vreau să zic de bucata de cupru introdusă în soluţie? Că un astfel de efect galvanic a avut loc, sînt sigur; ambele sîrme au început să fie acoperite în scurt timp cu bulele unui gaz oarecare şi a apărut un fel de curent de bule care se scurgeau continuu, ca şi cînd mici particule ar trece prin soluţie şi ar apărea la firul negativ. Verificarea că sulfatul a fost descompus am probat-o prin aceea că în aproximativ două ore soluţia, la început limpede, a devenit tulbure: conţinea o suspensie de magneziu".

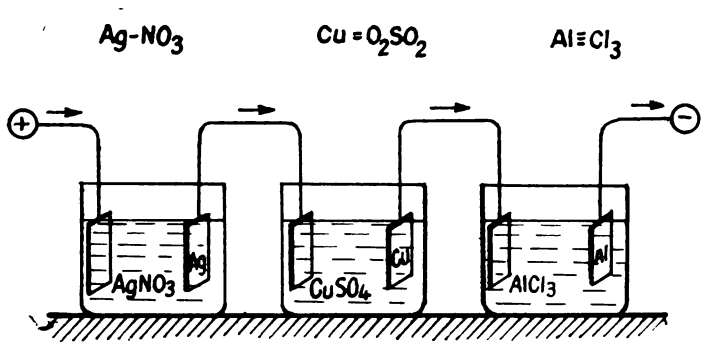


FIG. V—10 Demonstrarea legilor electrolizei ale lui Faraday. Dacă vom trece un curent electric printr-o soluţie de nitrat de argint, sulfat de cupru şi clorură de aluminiu, la electrodul negativ se vor depune metalele. Cantitatea de metal depus s-a găsit a fi proporţională cu cantitatea de electricitate care trece prin soluţie (prima lege a lui Faraday). S-a găsit, de asemenea că, dacă cantitatea de argint depus este 108 g (greutatea atomică a argintului), cantitatea de cupru depus era numai de 31,7 g *(jumătate* din greutatea atomică a cuprului), iar cantitatea de aluminiu depus de numai 9 g *(o treime* din greutatea atomică a aluminiului). Deoarece prin cele trei vase trece aceeaşi cantitate de electricitate, se poate trage concluzia că ionii de cupru transportă de două ori mai multă sarcină electrică decît atomii de argint, iar ionii de aluminiu, de trei ori mai multă. Acest lucru e în concordanţă cu valenţa chimică a acestor trei metale, aşa cum se arată şi în formulele date în partea de sus a desenului. Aceasta este a doua lege a lui Faraday.

Aceasta era descoperirea descompunerii chimice cu ajutorul curentului electric sau *electroliza*, cum a numit-o Faraday. În următorii ani de lucru, la acest fenomen Faraday a descoperit două legi de bază care acum poartă numele său. Prima lege a lui Faraday stabileşte că *pentru o soluţie dată, cantitatea de material depus (eliberat) la electrozi este proporţională cu cantitatea totală de electricitate* (adică intensitatea curentului înmulţită cu timpul) *care trece prin soluţie*. Aceasta înseamnă că moleculele încărcate (pe care le vom numi *ioni* în cele ce urmează) care transportă electricitatea prin soluţiile de lichid au o sarcină electrică strict definită (fig. V-10).

Conform celei de a doua legi a lui Faraday; *ionii monovalenţi ai oricăror substanţe, de asemenea, transportă cantităţi egale de electricitate, în timp ce ionii bi-, tri- multi-valenţi transportă o sarcină corespunzător mai mare*. Aceasta probează existenţa unei unităţi universale de sarcină electrică, care

în vremea lui Faraday se considera a fi legată de diferiţi atomi, însă mai tîrziu a fost detectată sub forma electronilor liberi care circulă în spaţiu.

După descoperirea electrolizei, Faraday trebuia să-şi găsească o slujbă, deoarece angajarea lui la librărie avea să expire în cîteva luni. Dorinţa lui cea mai mare era să lucreze cu Sir Humphry Davy, celebrul chimist, ale cărui lecţii Faraday le urmărise în timpul uceniciei. El a copiat notele după lecţiile lui Davy cît mai caligrafic, le-a completat cu desene făcute cît mai artistic şi a trimis volumul, legat elegant, lui Sir Humphry cu o cerere de a fi angajat în laboratorul acestuia. Cînd Davy i-a cerut sfatul unuia dintre conducătorii lui Royal Institution of Great Britain, la care el era director, în legătură cu angajarea tînărului legător de cărţi, interlocutorul i-a răspuns: „Ia-l să-ţi spele sticlele. Dacă e bun la ceva va accepta; dacă refuză, înseamnă că nu e nimic de capul lui".

Faraday a acceptat şi a rămas să lucreze la Royal Institution timp de 45 de ani, la început ca asistent al lui Davy, apoi ca colaborator şi, în cele din urmă, după moartea lui Davy, ca succesor al acestuia.

În afară de numeroasele publicaţii din revistele ştiinţifice, cel mai deosebit document referitor la cercetările sale este *Jurnalul* în care el îşi face însemnări continuu, din 1820 pînă în 1862. Acesta a fost nu prea de mult (1932) publicat de Royal Institution şi cuprinde şapte volume groase, conţinînd în total 3 236 pagini şi cîteva mii de desene marginale. Citãm din *Jurnal* descrierea, chiar cu cuvintele lui Faraday, poate a celei mai importante descoperiri ale sale, *inducţia electromagnetică*:

„*29 august, 1831*

1. Experienţe asupra producerii electricităţii din magnetism etc. etc.

2. Aveam un inel de fier (fier moale) cu grosimea de 7/8 inch şi cu un diametru exterior de 6 inches (fig. V-11). Am bobinat mai multe spire de sîrmă de cupru în jurul unei jumătăţi de cerc, spirele fiind izolate cu aţă şi pînză — există trei sîrme, fiecare cu o lungime de aproximativ 24 de picioare şi ele pot fi unite la capete pentru a fi folosite ca un singur fir sau ca fire separate. Fiecare poate fi completat izolat de celelalte. Vom nota această parte a inelului cu *A*. Pe cealaltă

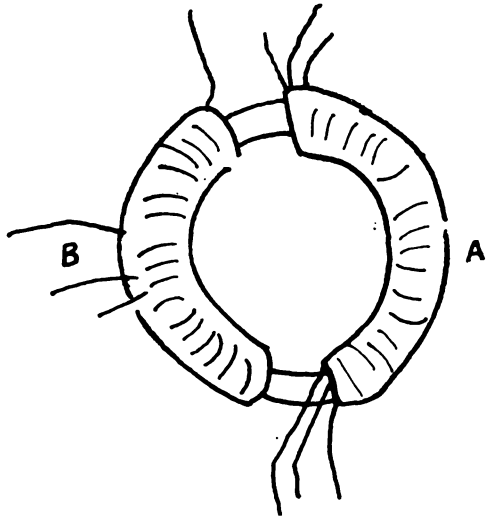


FIG. V—11 Desenul din *Jurnalul* lui Faraday ilustrînd descoperirea inducției electromagnetice. Apariția și dispariția unui curent în bobina *A* induce un curent de scurtă durată în bobina *B*.

parte și separată printr-un interval a fost înfășurată cu sîrma dublă cu o lungime de aproximativ 60 de picioare, direcția fiind aceeași ca și pentru bobina precedentă; fie *B* această parte.

3. Am pregătit o baterie de zece plăci de cite 4 inches pătrați fiecare. Am făcut ca bobina *B* să fie una singură și am conectat capetele ei cu o sîrmă de cupru care trece la o oarecare distanță (3 picioare de la inelul de fier) deasupra unui ac magnetic. Apoi am conectat capetele uneia dintre bobinele *A* cu bateria; imediat a apărut un efect sensibil asupra acului. El a oscilat și s-a oprit în cele din urmă în poziția inițială. La întreruperea legăturii cu bateria din partea *A* apare din nou o deviere a acului".

Astfel, curentul electric dintr-o bobină poate induce un curent în altă bobină așezată în apropiere, la fel ca și inducerea sarcinii electrice de polarizare de către o sarcină electrică a unui corp în alt corp, așezat în apropiere. Însă cîtă vreme, în cazul polarizării electrice, efectul este static și persistă atît timp cît cele două corpuri rămîn aproape unul de altul, inducția curentului electric este un proces dinamic și curen-

tul din a doua bobină există numai în momentele cînd curentul din prima bobină creşte de la zero la valoarea lui normală sau scade de la această valoare la zero.

În mai puţin de trei luni de la epocala descoperire, Faraday a făcut un alt pas important în cercetările sale asupra legăturii dintre electricitate şi magnetism. Descriem aici, după *Jurnalul* său, cum s-au întîmplat faptele:

„17 octombrie, 1831

56. Am construit un cilindru gol, de hîrtie, acoperit cu opt spirale de sîrmă de cupru care merg în aceeaşi direcţie şi conţin următoarele cantităţi:

	picioare	inches
1 sau cea mai dinafară	— 32	10
2	— 31	6
3	— 30	
4	— 28	
5	— 27	
6	— 25	6
7	— 23	6
8 sau cea mai din interior	— 22	
	220 picioare exclusiv	

ale extremităţilor prevăzute, toate separate prin sfoară şi pînză. Diametrul interior al cilindrului de hîrtie a fost 13/16 inch, diametrul exterior de 1 1/2 inches, iar lungimea (pe generatoare) a bobinelor de cupru (Faraday le numeşte spirale. — *N.T.*) de 6 1/2 inches.

57. Experienţe de zero. Cele opt capete ale bobinelor de la un capăt al cilindrului au fost legate strîns cu un mănunchi. La fel şi celelalte opt capete de la cealaltă extremitate a cilindrului (fig. V-12). Aceste capete astfel legate erau conectate apoi la un galvanometru printr-o sîrmă lungă de cupru. Apoi, în momentul cînd a fost introdus brusc, pînă la capăt, în cilindrul de hîrtie bobinat, un magnet în formă de bară cilindrică cu diametrul de 3/4 inch şi lung de 8 1/2 inches, s-a observat o deviaţie a acului galvanometrului. De asemenea, s-a observat o deviaţie a acului, însă în sens invers, cînd bara magnetică era trasă afară. Acest efect se repeta ori de cîte ori magnetul era introdus sau scos, deci se forma o undă electrică numai prin simpla apropiere a magnetului, şi nu prin rămînerea lui pe loc.

58. Acul nu rămînea deviat, ci se reîntorcea, de fiecare dată, la poziţia iniţială. Ordinea de mişcare era inversă celei din experienţa de mai înainte — mişcarea era în aceeaşi direcţie ca şi în experienţa

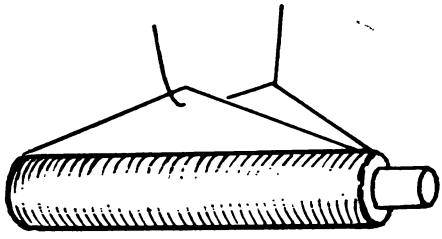


FIG. V—12 Desen din *Jurnalul* lui Faraday ilustrînd o experienţă în care se induce un curent electric într-o bobină cînd magnetul este împins înăuntru sau tras în afară din bobină.

de mai înainte; de exemplu, acul indicator tindea să devină paralel cu magnetul excitator, fiind de aceeaşi parte a sîrmei, polii de acelaşi nume aflîndu-se în aceeaşi direcţie.

59. Cînd bobinele se unesc ca să formeze o singură bobină lungă, efectul la galvanometru nu este atît de puternic ca şi mai înainte, poate nici pe jumătate atît de puternic. De aceea e mai bine ca bobina să fie făcută din mai multe bucăţi unite la capete.

60. Cînd se utiliza numai una dintre cele opt bobine efectul era minim — abia simţit".

Inducerea unui curent electric într-o bobină este un fenomen *dinamic* şi curentul există doar atîta timp cît magnetul este împins în bobină sau tras afară. Pe vremea lui Faraday, ideea că magnetismul produce curent electric, la fel după cum şi curentul electric dă naştere magnetismului, plutea în aer şi mulţi fizicieni încercau să observe acest efect. Însă, fiind conduşi pe o cale greşită de analogia cu inducţia electrostatică, ei urmăreau doar configuraţii *statice* de magneţi şi bobine, cum ar fi o bară magnetizată, înfăşurată cu o bobină, care refuza cu încăpăţînare să producă orice scînteie, cînd se puneau în contact capetele ei. Geniului lui Faraday, sau poate numărului extraordinar de experienţe pe care le efectua de dimineaţa pînă seara, îi datorăm concluzia că producerea unui curent electric este un proces *dinamic* şi cere fie variaţia intensităţii unui alt curent, fie variaţia poziţiei unui magnet. Singurul fizician care mai ajunsese la aceeaşi idee a fost americanul Joseph Henry, dar el a ezitat atît de mult cu comunicarea ei, încît prioritatea descoperirii i-a revenit omului de pe cealaltă parte a Atlanticului.

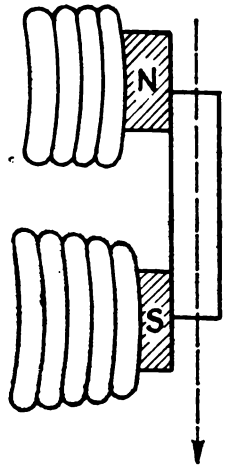


FIG. V—13 Desen din *Jurnalul* lui Faraday ilustrînd descoperirea efectului cîmpului magnetic asupra luminii. Cînd este polarizată, lumina se propagă de-a lungul liniilor magnetice de forţă, iar planul de polarizare se roteşte cu un unghi proporţional cu intensitatea cîmpului.

Mintea iscoditoare a lui Michael Faraday nu se putea opri să nu descurce relaţia ascunsă dintre electricitate şi magnetism. El ar fi vrut, de asemenea, să afle dacă magneţii pot influenţa fenomenele optice. Aceasta a dus la descoperirea, cu totul remarcabilă, a rotaţiei planului de polarizare a luminii (vezi p. 104) care trece printr-un material transparent, plasat într-un cîmp magnetic. Să-l lăsăm din nou pe Faraday să ne vorbească el însuşi despre această descoperire (fig. V-13).

„13 septembrie, 1845

7498. Astăzi am lucrat cu linii de forţă magnetică pe care le-am făcut să treacă prin diferite corpuri (transparente în diferite direcţii) trecînd, în acelaşi timp, o rază de lumină polarizată prin ele şi apoi examinînd raza cu ajutorul unui nicol sau cu altceva. Magneţii erau electromagneţi, unul fiind marele nostru cilindru electromagnet, iar celălalt, un miez de fier introdus într-o bobină înfăşurată pe un cadru — acesta nu era atît de puternic ca primul. Curentul celor cinci celule ale bateriei lui Grove era trecut prin ambele bobine în acelaşi timp, iar acţiunea magneţilor era realizată şi întreruptă prin închiderea şi respectiv deschiderea circuitului electric".

După descrierea mai multor rezultate negative în care raza de lumină era trecută prin aer şi prin diferite substanţe, Faraday nota în aceeaşi zi:

7504. *„Sticlă grea*

Am experimentat cu o piesă din sticlă grea, polizată la capete, care are 2 × 1,8 inches şi 0,5 inch grosime, fiind din silico-borat de plumb. Nu apărea nici un efect cînd *polii magnetici de acelaşi* fel sau de fel *contrar* se aflau în părţi opuse (în raport cu raza polarizată) — nici cînd polii de acelaşi fel erau de aceeaşi parte, nici la curent constant şi nici la curent intermitent. ÎNSĂ, cînd polii magnetici de semn contrar erau de aceeaşi parte (fig. V-13), apărea un efect asupra razei polarizate, şi astfel s-a verificat că între forţa magnetică şi lumină există o interacţiune. Acest rezultat se va dovedi deosebit de fructuos şi de valoros în cercetarea ambelor fenomene".

Şi el a reuşit! „Efectul Faraday" sau rotaţia planului de polarizare a luminii, care se propagă de-a lungul liniilor de forţă magnetice, demonstrează relaţia intimă dintre undele de lumină, care sînt oscilaţii electromagnetice foarte scurte, şi curenţii electrici din interiorul atomilor individuali. Aceste mici circuite electrice, a căror existenţă a fost sugerată pentru prima oară de Ampère (p. 159) se interpretează azi ca fiind datorate rotaţiilor electronilor în jurul nucleului central. Să considerăm doi atomi identici, plasaţi într-un cîmp magnetic, astfel încît un cerc descris de electroni să fie în sensul acelor de ceasornic, iar altul în sens contrar acestora (fig. V-14). În primul caz, cîmpul magnetic va acţiona asupra electronului în mişcare cu o forţă îndreptată către nucleu, iar în celălalt caz, forţa va fi în sens opus. Astfel, în prima variantă diametrul orbitei electronului se va micşora şi frecvenţa va creşte, iar în a doua se va întîmpla invers. Această diferenţă în comportarea curenţilor intraatomici, orientaţi în sensul acelor ceasornicului şi în sens contrar, va influenţa propagarea undelor electromagnetice (luminoase) prin materie şi se poate arăta că rezultatul va fi rotaţia planului de polarizare observată de Faraday.

Fiind convins că toate fenomenele observate în lumea fizică sînt, într-un fel sau altul, interdependente, Faraday a încercat, de asemenea, să stabilească o legătură între forţele

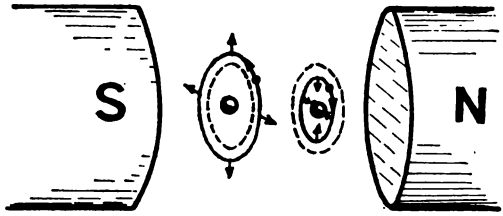


FIG. V — 14 Explicarea efectului Faraday. Forţa care acţionează asupra unui electron atomic într-un cîmp magnetic depinde de sensul de mişcare. În cazul rotaţiei în sens invers acelor de ceasornic *(stînga)*, forţa face să crească raza orbitei şi să scadă frecvenţa. În cazul rotaţiei în sensul acelor de ceasornic (dreapta), forţa face să scadă raza şi să crească frecvenţa. Interacţionînd cu lumina, aceste două tipuri de mişcare a electronului fac să se rotească planul de polarizare.

electromagnetice şi forţele gravitaţiei newtoniene. În 1849 el scria în *Jurnalul* său de laborator:

„Gravitaţie. Desigur această forţă trebuie să se afle într-o legătură empirică cu electricitatea, magnetismul şi cu alte forţe şi astfel să se compună cu ele în acţiunea lor reciprocă şi cu efecte echivalente. Mă gîndesc, pentru moment, cum să mă ocup de acest lucru prin fapte şi încercări".

Însă numeroasele experienţe pe care le-a efectuat pentru a descoperi o astfel de relaţie nu au fost încununate de succes şi el a încheiat această parte a *Jurnalului* cu cuvintele:

„Aici se încheie, pentru moment, încercările mele. Rezultatele sînt negative. Ele nu au zdruncinat convingerea mea fermă asupra existenţei unei relaţii între gravitaţie şi electricitate, deşi nu s-a verificat că o astfel de relaţie există".

Un secol mai tîrziu un alt geniu şi-a frămîntat mintea timp de mai multe decenii, încercînd să dezvolte aşa-numita „teorie unificată a cîmpului", care să înglobeze fenomenele electromagnetice şi gravitaţionale. Însă, la fel ca Michael Faraday, Albert Einstein a murit fără ca să reuşească să rezolve această problemă.

Oricît de impresionante erau descoperirile experimentale ale lui Faraday, ele au fost egalate de ideile sale teoretice. Avînd o instruire foarte sumară şi practic necunoscînd matematica, Faraday nu poate fi considerat ceea ce se numeşte în mod obişnuit un fizician teoretician. Însă, de fapt, pentru conceperea imaginilor teoretice ale încurcatelor fenomene fizice cunoaşterea atît de complicatei matematici nu este totdeauna necesară, ba uneori e chiar dăunătoare. Cercetătorul poate să se piardă uşor în junglele încîlcitelor formule şi, aşa cum spune un proverb rusesc, „el nu poate să vadă pădurea din cauza copacilor". Înainte de Faraday, forţele electrice şi magnetice, ca şi cele gravitaţionale erau considerate în mod obişnuit ca acţionînd în spaţiul liber care separă obiectele ce interacţionează. Acestei minţi simple, totuşi, o astfel de „acţiune la distanţă" nu i se părea că ar avea sens fizic şi, văzînd o greutate care era deplasată dintr-un loc într-altul, el ar fi dorit să vadă şi o funie cu care să fie trasă sau un băţ cu care să fie împinsă. Astfel, din dorinţa de a reprezenta forţele care acţionează între sarcinile electrice şi magneţi, el avea să-şi imagineze că spaţiul dintre ele este umplut cu „ceva" care poate fi tras sau împins. El vorbea despre ceva similar unor tuburi de cauciuc întinse între două sarcini electrice de semn opus sau între doi poli magnetici de semn opus (fig. V-15 *a*), care trag fiecare de cîte un capăt. În cazul sarcinilor sau polilor de acelaşi semn, tuburile elastice se îndreaptă în diferite direcţii (fig. V-15 *b*), tinzînd să-i îndepărteze. Direcţia acestor tuburi ale lui Faraday poate fi detectată în cazul magneţilor, împrăştiind pilitură fină de fier pe o placă de sticlă pe care se află magnetul. Pilitura se va magnetiza şi se va orienta în direcţia forţelor magnetice care acţionează de-a lungul tuburilor, dînd naştere unor figuri de tipul celor arătate în planşa III. În cazul unui cîmp electric pot obţine rezultate similare prin utilizarea polarizării electrice, însă experienţa e mult mai greu de realizat. După Faraday, tuburile electrice şi magnetice produc, de asemenea, diferite fenomene electromagnetice. Cînd printr-o sîrmă trece un curent electric, el este înconjurat de tuburi circulare (fig. V-15 *c*), care exercită o

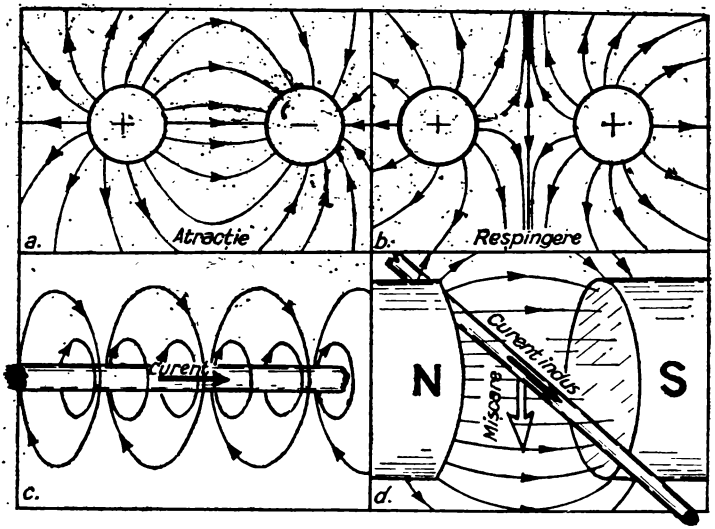


FIG. V—15 Tuburile de forță ale lui Faraday corespunzătoare diferitelor tipuri de interacțiune electromagnetice: *a* — tuburi de forță electrice între două sarcini electrice opuse; *b* — tuburi de forță electrice între sarcini de același fel; *c* — tuburi de forță magnetice în jurul sîrmei care transportă curent electric; *d* — un curent electric indus într-o sîrmă care se mișcă *(săgeata albă)* printre tuburile de forță magnetice. Micile *săgeți negre* indică direcția convențională a tuburilor de forță; de la sarcina pozitivă la cea negativă, și de la Polul Nord la Polul Sud.

presiune asupra acului magnetic, orientîndu-l într-un anumit fel. Cînd o sîrmă, conducătoare de electricitate, este mișcată față de un magnet (sau viceversa), ea taie tuburi de forță magnetice și, ca rezultat, se induce în ea un curent.

Aceste idei ale lui Faraday erau pe de o parte foarte naive și mai mult calitative, însă ele marcau o nouă eră în dezvoltarea fizicii. Forțele misterioase care acționau la mari distanțe între corpuri erau înlocuite prin „ceva" continuu, răspîndit în tot spațiul, între și în jurul corpurilor, „ceva" ce ar putea fi descris printr-o valoare definită în orice punct. Astfel a fost introdusă în fizică ideea de „cîmp de forțe" sau, simplu, „cîmp", în cazul interacțiunilor electrice, magnetice sau gravitaționale. Forțele dintre obiectele materiale separate prin spațiu liber pot

$$\operatorname{div}\vec{E} = \rho \quad : \quad \operatorname{div}\vec{H} = 0$$

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\delta \vec{H}}{\delta t}$$

$$\operatorname{rot}H = \frac{i}{c}\frac{\delta \vec{E}}{\delta t} + \rho\frac{\vec{u}}{c}$$

FIG. V—16 James Clerk Maxwell şi ecuaţiile sale pentru cîmpul electromagnetic.

fi considerate acum ca fiind rezultatul interacţiunilor, „din aproape în aproape", dintre cîmpurile care le înconjură.

Sarcina de a da o formulare matematică cantitativă ideilor lui Faraday a căzut pe umerii faimosului scoţian James Clerk Maxwell (fig. V-16), care s-a născut la Edinburgh la cîteva luni după ce Faraday anunţase descoperirea sa privind inducţia electromagnetică. Spre deosebire de Faraday, Maxwell era un foarte bun matematician. La vîrsta de 10 ani, Maxwell frecventa şcoala de la Edinburgh Academy şi era obligat să-şi dedice o mare parte din timp studiului verbelor neregulate din limba greacă şi altor ramuri ale „ştiinţelor umanistice". El ar fi vrut mai degrabă să se dedice matematicii şi primul său succes în acest domeniu a fost, după propriile sale cuvinte, „să fac un tetraedru, un dodecaedru şi alte două multiedre al căror nume adevărat nu-l mai ştiam". La vîrsta de 14 ani, el a cucerit medalia pentru matematică a Academiei cu o lucrare în care arăta cum se construieşte o curbă ovală din ace şi aţă. Cîţiva ani mai tîrziu, Maxwell a prezentat la Societatea Regală două lucrări: una *Asupra teoriei curbelor de rostogolire* şi alta *Asupra echilibrului solidelor elastice*. Ambele lucrări au fost citite în faţa Societăţii de către altcineva, deoarece „se credea că nu e potrivit pentru un băiat cu veston să se urce la tribună". În 1850, la vîrsta

de 19 ani, Maxwell s-a înscris ca student la Universitatea din Cambridge şi patru ani mai tîrziu şi-a luat doctoratul, iar în 1856 a fost numit la catedra de filozofie naturală la Marischal College în Aberdeen, unde avea să rămînă pînă cînd a fost chemat înapoi la Cambridge, în 1874, ca prim-director al Laboratorului Cavendish nou înfiinţat.

Deşi primele preocupări ale lui Maxwell erau numai din domeniul matematicii pure, în scurt timp a început să-l preocupe aplicarea metodelor matematice la diferite probleme de fizică. Astfel, el a adus contribuţii foarte importante în teoria cinetică a căldurii (vezi cap. IV), însă, desigur, cea mai importantă realizare a sa a fost formularea matematică a ideilor lui Faraday, referitoare la natura şi legile cîmpului electromagnetic. Generalizînd faptele empirice referitoare la faptul că variaţia cîmpului magnetic induce forţe electromotoare şi curenţi electrici în conductori, iar variaţia cîmpului electric şi curgerea curentului electric dau naştere la cîmpuri magnetice, el a scris faimoasele ecuaţii care azi îi poartă numele, şi care leagă variaţia cîmpului magnetic cu distribuţia spaţială a cîmpului electric şi viceversa. Utilizînd ecuaţiile lui Maxwell şi cunoscînd distribuţia corpurilor magnetizate, a conductorilor încărcaţi, şi a curenţilor electrici, se poate calcula, în cele mai mici detalii, cîmpul electromagnetic care le înconjură şi variaţia lui în timp. Maxwell a arătat că deşi cîmpurile electric şi magnetic sînt de obicei „ancorate" de corpurile încărcate electric sau magnetizate, ele pot totuşi să existe şi să se propage prin spaţiu sub forma unor unde electromagnetice libere. Pentru a lămuri acest lucru, să considerăm două sfere conductoare, una încărcată cu electricitate pozitivă şi cealaltă cu electricitate negativă (fig. V- 17*a*). În spaţiul care înconjură aceste două sfere există un cîmp electric static, care acumulează energia electrică a sarcinilor, mai mult sau mai puţin asemănător cu modul în care un arc comprimat acumulează energia mecanică. Dacă vom conecta două sîrme legate la ambele sfere încărcate, va apărea un curent electric care se va scurge de la o sferă la alta, şi sarcinile lor electrice ca şi cîmpul electric care le înconjură vor scădea rapid (fig. V-17*b*) pînă cînd, în cele din urmă, se va anula (fig. V-17*c*). Totuşi un curent electric care trece prin sîrmă va produce un cîmp magnetic

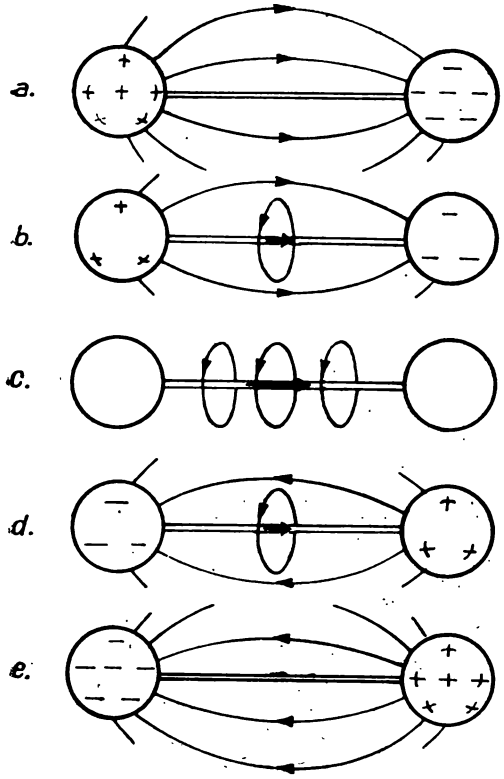


FIG. V—17 Oscilaţii electromagnetice între doi conductori în care energia cîmpului magnetic *(a)* se transformă periodic în energia cîmpului magnetic *(c)* şi viceversa *(e)*.

în jurul ei, şi în momentul în care cîmpul electric va deveni zero, toată energia sistemului va fi acumulată în acest cîmp magnetic. Însă procesul nu se opreşte aici şi curentul electric continuă să se scurgă prin sîrmă, deşi cu o intensitate mai scăzută, reîncărcînd cele două sfere cu electricitate de semne opuse (fig. V-17*d*). Energia cîmpului magnetic se transformă din nou în energia cîmpului electric şi, în final, vom ajunge din nou la stadiul în care curentul va fi zero şi cele două sfere vor fi încărcate cu electricitate,

însă de semne contrare (fig. V-17*e*). Acum procesul începe din nou, însă în direcţie opusă şi oscilaţiile electrice se vor desfăşura într-un sens, apoi în celălalt, pînă cînd pierderea treptată de energie, datorită încălzirii sîrmei, duce la oprirea procesului. Situaţia este similară cu aceea a pendulului, unde energia cinetică a mişcării la mijlocul fiecărei oscilaţii se transformă în energie potenţială la cele două extreme ale ei.

Utilizînd ecuaţiile descoperite de el, Maxwell a putut să arate că un cîmp electromagnetic oscilant, de tipul descris mai sus, se propagă în spaţiul care înconjură oscilatorul sub forma unor unde care transportă energie. În timp ce liniile de forţă electrice se află într-un plan ce trece prin sîrma conductoare, liniile de forţă magnetice sînt perpendiculare pe acesta, vectorii, electric şi magnetic, sînt perpendiculari, în unda care se propagă, unul pe celălalt ca şi pe direcţia de propagare (fig. V-18). Existenţa unor astfel de unde a fost confirmată experimental în 1888, de către fizicianul german Heinrich Hertz curînd după ce Maxwell le prezisese în lucrarea sa, fapt care a condus la dezvoltarea tehnicii în radiocomunicaţii, care, în prezent, constituie una dintre ramurile principale ale industriei.

Să intrăm acum în cîteva detalii ale punctelor mai importante din teoria lui Maxwell, şi anume calculul vitezei de propagare a undelor electromagnetice. Ocupîndu-ne de interacţiunea cîmpurilor electrice şi magnetice, ni se pune problema referitoare la unităţile ce trebuie folosite pentru măsurarea diferitelor cantităţi electromagnetice. Am văzut că unitatea de sarcină electrică se defineşte ca fiind sarcina care respinge o altă sarcină egală, plasată la distanţa de 1 cm, cu o forţă de 1 dynă. În mod corespunzător, unitatea de cîmp electric va fi definită ca fiind acel cîmp care acţionează cu forţa de 1 dynă asupra sarcinii-unitate plasată în cîmp. Dar ce se întîmplă dacă considerăm că fenomenul cuprinde atît electricitate, cît şi magnetism, de exemplu, un cîmp magnetic produs de un curent electric?

Să presupunem că cercetăm acţiunea curentului electric asupra unui pol magnetic plasat la 1 cm faţă de sîrmă. Am putea defini unitatea de curent electric ca fiind acel curent care transportă unitatea de sarcină electrică, definită ca mai sus, pe secundă. Dar dacă am face aşa, forţa cu care

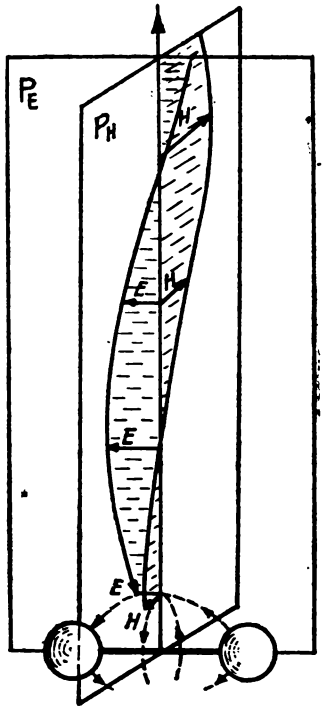


FIG. V—18 Formarea unei unde electromagnetice care se propagă ca rezultat al oscilației sarcinii între doi conductori.

cîmpul magnetic produs de un curent acționează asupra polului-unitate plasat la 1 cm distanță nu va fi, în mod necesar, 1 dyn și, în general, nici nu este. De altfel, am putea defini și invers, o unitate de curent ca fiind acel curent ce produce un cîmp magnetic care, la rîndul său, ar acționa cu o forță de 1 dyn asupra polului-unitate plasat la distanța de 1 cm. Dar dacă am face așa, atunci cantitatea de electricitate care s-ar scurge prin firul conductor ce transportă unitatea de curent electric nu ar fi egală cu unitatea electrostatică de sarcină electrică. În loc de a alege una dintre definiții și a o respinge pe cealaltă, fizicienii preferă să le utilizeze pe amîndouă, introducînd un factor constant

pentru transformarea unui sistem de unităţi în celălalt. Situaţia este foarte asemănătoare cu ceea ce există la măsurătorile de căldură, unde se pot utiliza ca unitate fie caloria, fie ergul (cu raportul $4{,}2 \times 10^7$). Unitatea de sarcină electrică definită cu ajutorul legii lui Coulomb de atracţie sau repulsie electrică (prima din cele două definiţii) este cunoscută sub numele de *unitate electrostatică* (u.e.s.), în timp ce unitatea de sarcină definită de legea lui Oersted (legea acţiunii curentului electric asupra unui cîmp electric) este cunoscută sub numele de *unitate electromagnetică* (u.e.m.). O unitate electromagnetică este egală cu 3×10^{10} unităţi electrostatice, astfel încît curentul care transportă 1 u.e.s/s exercită o forţă de numai 3×10^{10} dyn asupra unităţii de cîmp, la distanţa de 1 cm, în timp ce două corpuri încărcate cu 1 u.e.m. fiecare, şi aşezate la 1 cm unul de altul, se vor respinge unul pe celălalt cu o forţă de 3×10^{10}dyn.

De aceea, la scrierea ecuaţiilor, Maxwell trebuia să utilizeze unităţi electrostatice pentru cîmpurile electrice, şi unităţi electromagnetice pentru cîmpurile magnetice, astfel că factorul 3×10^{10} s-a strecurat în formulele ce conţin cîmpul electric de o parte a ecuaţiei, şi cîmpul magnetic, de cealaltă. Iar aplicarea acestor ecuaţii pentru descrierea undelor electromagnetice care se propagă conduce la concluzia că viteza de propagare este numeric egală cu raportul celor două unităţi, adică cu 3×10^{10} cm/s. *Iată* deci cum acest număr coincide exact cu viteza luminii în vid, care a fost măsurată prin diferite metode cu mult înainte ca Maxwell să se fi născut! Aha! şi-a zis probabil Maxwell, aceasta ar putea să însemne că undele de lumină sînt, de fapt, unde electromagnetice de lungime de undă foarte mică, iar această idee l-a condus la dezvoltarea unei ramuri importante a fizicii: *teoria electromagnetică a luminii*. Acum ne putem imagina interacţiunea luminii cu materia, care cuprinde fenomenele de emisie, propagare şi absorbţie a luminii, ca rezultat al forţelor care acţionează între undele electromagnetice de mică lungime de undă ce se propagă şi micile particule încărcate electric, electronii, mişcîndu-se continuu în jurul nucleului atomic încărcat pozitiv. Utilizînd ecuaţiile lui Maxwell am putea explica, în cele mai mici amănunte, fenomenele şi legile opticii. Coincidenţele numerice

între mărimi fizice aparent necorelate, ca şi raportul unităţilor electrostatice şi electromagnetice pe de o parte şi viteza luminii pe de alta, au condus adesea la noi descoperiri şi generalizări mai cuprinzătoare în fizică. În această carte vom vedea mai departe o altă coincidenţă asemănătoare între două constante fizice, una referitoare la emisia undelor de lumină şi de căldură de către corpurile fierbinţi, şi alta legată de emisia electronilor de către suprafeţele iluminate cu radiaţii ultraviolete, dovedindu-se de o deosebită importanţă în dezvoltarea teoriei cuantice.

VI

Revoluţia relativistă

După cum s-a descris în capitolul precedent, ideea unui mediu universal care să umple întreg spaţiul dintre şi din toate corpurile materiale a fost stabilită cu fermitate în fizică, spre sfîrşitul secolului al XIX-lea. Sub numele de eter universal dat de Huygens, acest mediu servea drept substrat pentru propagarea undelor luminoase; sub numele de tuburile lui Faraday el era responsabil de forţele dintre corpurile încărcate electric şi cele magnetizate. Lucrările lui Maxwell au condus la o sinteză între aceste două medii ipotetice, arătînd că lumina este o undă electromagnetică ce se propagă; apoi, creînd o elegantă teorie matematică, a legat la un loc toate fenomenele care implică lumina, electricitatea şi magnetismul. Dar, în ciuda tuturor acestor succese, fizicienii au găsit că este imposibil să se descrie proprietăţile acestui misterios mediu universal la fel cum au fost descrise proprietăţile mediilor binecunoscute, de tipul gazelor, solidelor şi lichidelor şi toate încercările făcute în acest sens au dus la contradicţii de nerezolvat.

CRIZA FIZICII CLASICE

Desigur, fenomenul polarizării luminii arată, fără nici o îndoială, că avem de-a face aici cu vibraţii transversale, în care materia vibrează perpendicular pe direcţia de propagare. Totuşi vibraţii transversale pot exista numai în substanţele solide, care, spre deosebire de lichide şi gaze, rezistă oricărei încercări de a le schimba forma, astfel încît eterul luminos ar trebui să fie considerat un mediu solid. Dacă este aşa şi dacă eterul universal umple tot

spațiul din jurul nostru, cum putem să ne deplasăm și să alergăm pe Pămînt, și cum pot să circule planetele în jurul Soarelui de miliarde de ani fără ca totuși să întîmpine vreo rezistență?

Faimosul fizician englez Lord Kelvin a încercat să rezolve această contradicție aparentă prin descrierea proprietăților eterului universal prin analogie cu acelea ale cleiului de cizmărie sau ale cerii de sigiliu. Aceste substanțe posedă proprietatea cunoscută sub numele de plasticitate și, în timp ce se sparg ca o bucată de sticlă, sub acțiunea unei forțe puternice aplicate cu rapiditate, ele pot curge ca lichidele, sub acțiunea unor forțe mult mai slabe (de exemplu, propria lor greutate), care însă ar acționa timp îndelungat. El a argumentat că în cazul undelor luminoase, cînd forța își schimbă direcția de milioane de miliarde de ori pe secundă, eterul universal s-ar comporta ca un material solid, elastic, în timp ce în cazul mișcărilor mult mai lente ale oamenilor, păsărilor, planetelor, sau stelelor s-ar putea ca, practic, să nu opună rezistență. Dar dacă tuburile lui Faraday ar fi tensiuni și presiuni în eterul universal, magneții permanenți și sarcinile electrice statice nu ar exista pentru nici un interval de timp observabil, deoarece presiunile ar fi rapid slăbite prin modificările plastice ale acestei substanțe misterioase. E foarte ușor să critici pe cei care au ajuns la o concluzie greșită după ce cunoști rezultatul corect, însă este cu adevărat surprinzător faptul că marii fizicieni ai secolului trecut nu au înțeles că dacă eterul universal ar exista, el ar avea proprietăți complet diferite de cele ale corpurilor obișnuite, binecunoscute nouă. De fapt, se știe foarte bine că compresibilitatea gazelor, fluiditatea lichidelor, elasticitatea solidelor ca și celelalte proprietăți ale corpurilor materiale se datoresc structurii lor moleculare și sînt rezultatul mișcării moleculelor și al forțelor care acționează între ele. Se părea că nimeni — în afară probabil de chimistul rus Dmitri Mendeleev, care a atribuit eterului universal numărul zero în sistemul său periodic al elementelor — nu s-a gîndit că eterul universal ar avea propria lui structură moleculară și că, oricum, o astfel de ipoteză nu ar fi dus decît la alte complicații. Dacă forțele dintre magneți și corpurile încărcate, ca și propagarea luminii prin spațiu, puteau fi explicate prin existența unui

anumit mediu, acesta însă nu semăna cu nici un fel de substanţe materiale obişnuite cu care sîntem familiarizaţi. Însă adesea mintea omenească este prea reţinută de gîndirea tradiţională şi a trebuit să apară geniul lui Einstein ca să azvîrle pe fereastră eterul universal, contradictoriu şi de modă veche şi să-l substituie cu noţiunea extinsă de cîmp electromagnetic, căruia el i-a atribuit o realitate fizică egală cu aceea a oricărui corp material obişnuit.

VITEZA LUMINII

Prima încercare de a măsura viteza luminii a fost făcută de Galilei, care într-o seară, a plecat la ţară împreună cu asistentul său, ducînd cu ei şi două lanterne cu obturator. Aşezîndu-se la o distanţă, unul de altul, atît cît le era necesar ca să se poată vedea, ei au efectuat o experienţă în care asistentul lumina cu lanterna lui de îndată ce observa lumina lanternei lui Galilei. Întîrzierea cu care s-ar fi întors semnalul luminos ar fi indicat că lumina se propagă cu o anumită viteză şi ar fi permis măsurarea ei. Rezultatul acestui experiment a fost totuşi negativ, deoarece, aşa cum ştim azi, lumina se propagă cu o viteză atît de mare, încît întîrzierea la care ne-am putea aştepta nu ar fi mai mare de o sutime de miime de secundă. Cu peste două secole mai tîrziu experienţa lui Galilei a fost repetată, într-o formă mult îmbunătăţită, de către fizicianul francez Armand Hippolyte-Louis Fizeau, care a utilizat aranjamentul experimental prezentat în fig. VI-l*a*. Aranjamentul consta dintr-o pereche de roţi dinţate fixate la capetele unui ax lung. Roţile erau dispuse în aşa fel, încît dinţii uneia să corespundă cu spaţiul dintre dinţii celeilalte, astfel încît raza de lumină de la o sursă situată în dreapta să nu poată fi văzută cu ochiul în partea stîngă, indiferent de felul cum se roteşte axul. Totuşi, cînd roţile se învîrtesc foarte repede într-o mişcare atît de rapidă, încît să se deplaseze cu jumătatea distanţei dintre doi dinţi învecinaţi, în intervalul de timp cît îi trebuie luminii să se propage de la o roată la alta se aşteaptă ca lumina să treacă fără a fi oprită. Lungimea drumului străbătut de lumină între cele două roţi a fost mărită în mod intenţionat cu ajutorul a trei oglinzi, una dintre ele fiind plasată mai departe, aşa cum

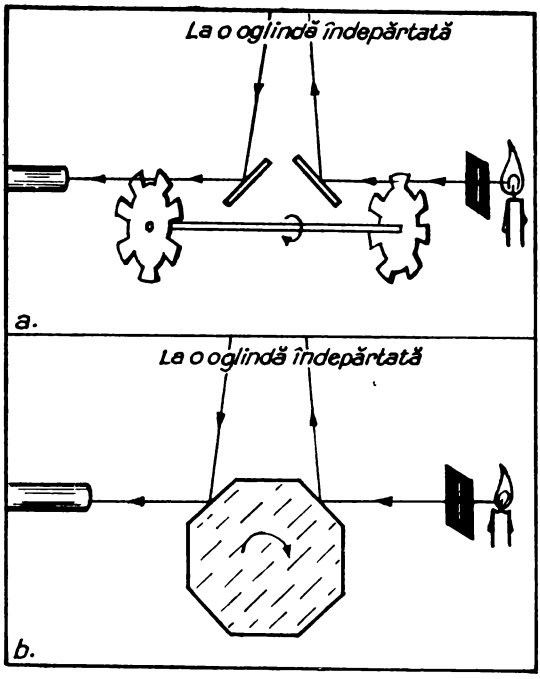


FIG. VI — 1 Metodele lui Fizeau *(a)* şi Foucault *(b)* pentru măsurarea vitezei luminii.

se vede pe figură. Împrimînd roţilor o viteză de cîteva mii de rotaţii pe minut, Fizeau a avut satisfacţia să observe că lumina trecea nestingherită prin întregul sistem şi, făcînd calculele, a ajuns la concluzia că viteza luminii este, aproape exact, de 3×10^{10} cm/s. Această valoare coincide cu cea obţinută, la numai trei decenii de la moartea lui Galilei, de către astronomul danez Olaus Roemer, din observaţiile sale asupra întîrzierilor aparente ale eclipselor sateliţilor lui Jupiter, cînd planeta se afla la diferite distanţe de Pămînt.

Metoda lui Fizeau putea fi folosită numai pentru determinarea vitezei luminii în aer (care e, practic, aceeaşi ca şi în vid), deoarece oglinda utilizată pentru prelungirea drumului străbătut de lumină trebuia plasată la o anumită

distanţă, în afară, pentru a face ca efectul să fie observabil. Prietenul şi colaboratorul său, Jean Foucault (ambii erau născuţi în 1819 şi aveau să fie consideraţi Castor şi Polux* ai ştiinţei franceze), a reuşit să scurteze această distanţă prin înlocuirea roţilor dinţate cu o oglindă rotitoare. Aranjamentul său experimental prezentat în fig. VI-1*b*, şi uşor de înţeles, făcea posibilă scurtarea drumului optic la numai cîţiva metri, astfel încît putea să permită luminii să pătrundă în toate direcţiile prin apă sau prin orice altă substanţă transparentă. Realizînd acest experiment, el a găsit că viteza luminii în corpurile materiale *este mai mică* decît viteza ei în vid, aducînd astfel, deşi tardiv, un suport serios punctului de vedere al lui Huygens împotriva celui al lui Newton. Aşa cum prezisese teoria ondulatorie a luminii, viteza luminii în apă, sticlă etc. s-a dovedit a fi exact viteza sa în vid împărţită prin indicele de refracţie al materialului respectiv.

VITEZA LUMINII ÎNTR-UN MEDIU ÎN MIŞCARE

Avînd la îndemînă metode precise pentru măsurarea vitezei luminii, fizicienii secolului al XIX-lea au efectuat o mulţime de experienţe asupra propagării ei, în speranţa de a elucida, cît de cît, din problemele privitoare la proprietăţile eterului universal, acest mediu misterios prin care se presupunea că se propagă lumina. O experienţă deosebit de importantă, a cărei semnificaţie nu a fost complet înţeleasă decît după primele publicaţii ale lui Einstein, a fost realizată în 1851 de către Fizeau. El şi-a propus să observe dacă viteza luminii era influenţată de mişcarea mediului prin care aceasta se propagă. În cazul undelor sonore care călătoresc prin aer, viteza de propagare este, desigur, influenţată direct de mişcarea maselor de aer, iar viteza sunetului care se propagă, cu sau împotriva vîntului, creşte sau scade cu o cantitate egală cu viteza vîntului. Asupra acestui lucru nu există nici o îndoială, dar se întîmpla oare acelaşi lucru în cazul luminii care se propaga printr-un mediu în mişcare? Pentru a rezolva această problemă, Fizeau s-a hotărît să măsoare viteza luminii care se propaga printr-un tub în care apa

* Doi fraţi celebri din antichitate. —*N.T.*

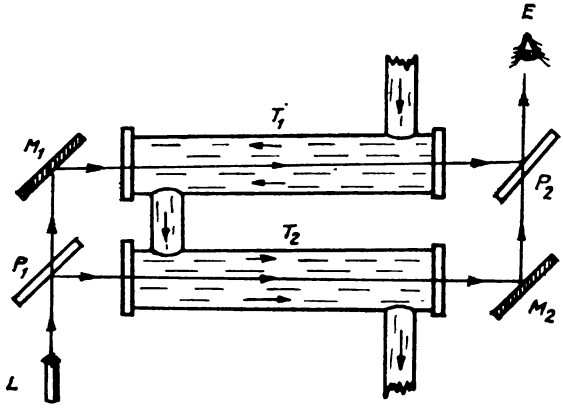


FIG. VI—2 Experiența lui Fizeau pentru observarea variației vitezei luminii care se propagă printr-un mediu în mișcare.

circula cu repeziciune. În acest caz, viteza apei se va adăuga sau se va scădea la viteza luminii în vid? Variația așteptată a vitezei luminii într-o astfel de experiență este, desigur, foarte mică, deoarece viteza cea mai mare de curgere a apei, care poate fi realizată tehnic, este foarte mică în comparație cu viteza luminii. Astfel, în acest caz, măsurătorile directe ale vitezei luminii realizate fie prin metoda lui Fizeau, fie prin a lui Foucault, descrise mai înainte, nu ar arăta nici o diferență. Dar cum nu ne interesează decît să știm dacă există vreo *diferență* între viteza luminii în apa care se mișcă și cea în apa care stă pe loc, putem utiliza o metodă mult mai precisă bazată pe interferența a două raze de lumină. Principiul acestui complicat experiment este prezentat în fig. VI-2.

O rază de lumină monocromatică de la o lampă cu mercur, L, cade pe o placă de sticlă, P_1, acoperită cu un strat foarte subțire de argint, care este însă exact atît de gros, încît să o reflecte pe jumătate, în timp ce cealaltă jumătate trece prin ea și este reflectată de oglinda M_1. Astfel se obțin două raze paralele de lumină de egală intensitate, ale căror vibrații sînt sincronizate la fel ca și în cazul experienței lui Young, descrisă în capitolul III. Aceste două raze de lumină trec prin două tuburi T_1 și T_2 și apoi sînt iarăși

reunite cu ajutorul plăcii de sticlă P_2 şi al oglinzii M_2. Dacă apa din ambele tuburi se află în repaus, cele două raze ajung în fază la ochiul observatorului E (adică creastă cu creastă şi vale cu vale) şi se adună, dînd intensitatea iniţială. Dacă însă apa din tuburi se mişcă în direcţii opuse şi „antrenează" cu sine undele de lumină, undele din tubul de jos vor ajunge la E mai repede decît undele corespunzătoare din tubul de sus şi, dacă diferenţa este exact egală cu jumătate de lungime de undă, va avea loc o interferenţă de extincţie* (creastă cu vale şi vale cu creastă). Să încercăm acum să apreciem cît de repede ar trebui să circule apa în T_1 pentru a produce această diferenţă de fază. În experienţa lui Fizeau, lungimea tuburilor era de 1,5 m sau 150 cm, iar lungimea de undă utilizată era de aproximativ 0,5 μ (5×10^{-5} cm), astfel încît pe toată lungimea tubului se forma un tren de 3×10^6 unde. Pentru a modifica acest număr cu jumătate de lungime de undă (de la 3 milioane la 3,5 milioane), viteza luminii în tubul în care circulă apa trebuie să crească sau să scadă cu fracţiunea $\frac{0{,}5}{3 \times 10^6} = 1{,}7 \times 10^7$. Deoarece viteza luminii în apă este de aproximativ 2×10^{10} cm/s, viteza de curgere a apei, necesară pentru obţinerea acestui rezultat, trebuie să fie de aproximativ $\frac{2 \times 10^{10}}{1{,}7 \times 10^7} = 1000$ cm/s $=$ $= 10$ m/s, care deşi destul de mare, totuşi este realizabilă pentru circulaţia apei prin tuburi. Astfel, este posibil să se pună în evidenţă schimbările aşteptate în viteza luminii prin observarea franjelor de interferenţă din acest experiment.

Efectuînd măsurători exacte prin variaţia vitezei de curgere a apei, Fizeau a ajuns la un rezultat intermediar între cele două posibilităţi aşteptate. Viteza luminii în apa care curgea *era diferită* de viteza luminii în apa aflată în repaus, însă diferenţa *era mai mică* decît viteza de curgere a apei. El a observat, cu ajutorul figurii de interferenţă, că viteza luminii care se propagă în direcţia curgerii apei a crescut cu 44% din viteza apei, în timp ce viteza luminii care se propagă în direcţie opusă a scăzut cu aceeaşi cantitate. Cînd s-au utilizat alte lichide, s-a găsit că antrenarea exercitată

* De stingere. — *N.R.*

asupra luminii care se propaga prin acestea are valori numerice diferite şi că viteza luminii într-un fluid în mişcare poate fi exprimată, în general, cu ajutorul formulei empirice*

$$V = \frac{c}{n} \pm \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) v,$$

unde n este indicele de refracţie al lichidului respectiv, iar v, viteza de curgere a lichidului. Pe vremea aceea, nici Fizeau şi nici altcineva nu puteau să-şi închipuie ce semnificaţie putea să aibă această formulă şi situaţia a rămas aşa, pînă cînd, o jumătate de secol mai tîrziu, Einstein a arătat că misterioasa formulă empirică este un rezultat direct al teoriei relativităţii.

VITEZA LUMINII PE PĂMÎNTUL ÎN MIŞCARE

În anul 1887, pe cînd Einstein avea opt ani, fizicianul american A.A. Michelson şi colaboratorul său E.W. Morley au efectuat, împreună, o experienţă remarcabilă. Dacă Fizeau a putut să observe influenţa unui curent de apă, ce se mişcă repede, asupra vitezei luminii care se propagă prin el, ar fi posibil să se observe şi efectul mişcării Pămîntului în spaţiu asupra vitezei luminii, măsurată la suprafaţa lui. Desigur, Pămîntul se mişcă pe orbita lui în jurul Soarelui cu viteza de aproximativ 30 km/s, şi ar trebui să existe un vînt de eter care să sufle pe suprafaţa, şi poate chiar prin însuşi corpul planetei noastre, exact ca în cazul unui automobilist care circulă cu capota descoperită într-o zi fără vînt. Experienţa lui Michelson şi Morley a fost făcută după acelaşi principiu ca şi experienţa lui Fizeau, însă a trebuit să fie modificată, deoarece în acest caz, aparent nu exista o echivalenţă între cele două tuburi prin care vîntul de eter sufla în sensuri opuse. În schimb, ei au încercat să măsoare timpul de propagare, dus-întors, a luminii în primul caz, propagarea făcîndu-se în direcţia presupusă a vîntului de eter, iar în al doilea caz, în direcţie perpendiculară pe prima. Pentru a înţelege principiul acestei experien-

* Formulă care n-a fost obţinută printr-o deducere matematică, pe baza unei anumite teorii, ci ajustată în aşa fel, încît să se potrivească cu datele experimentale.

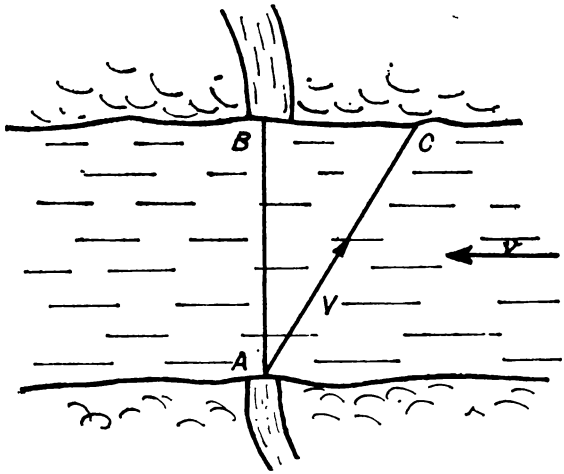


FIG. VI—3 Problema bărcii care traversează rîul.

ţe, să considerăm o barcă cu motor care se deplasează dus şi întors, într-un caz de-a lungul unui rîu lat, în celălalt caz, de-a latul lui. În primul caz, la ducere, barca va merge în sensul curentului apei şi viteza ei va fi $V+v$, unde V este viteza bărcii faţă de apă, iar v este viteza rîului. La întoarcere barca va naviga împotriva curentului şi se va mişca cu viteza $V-v$. Dacă L este distanţa între două puncte de oprire în lungul rîului, timpul pentru întoarcere va fi:

$$t \rightleftarrows = \frac{L}{V+v} + \frac{L}{V-v} = \frac{2LV}{V^2 - v^2} = \frac{2L/V}{1 - \frac{v^2}{V^2}}.$$

Deoarece $\frac{2L}{V}$ este timpul pentru dus şi întors într-o apă care s-ar afla în nemişcare, vedem că din cauza curgerii apei, timpul acesta va fi mai lung. În particular, dacă v este egal sau mai mare decît V, barca nu se va mai întoarce şi $t \rightleftarrows$ devine infinit.

Să considerăm cazul bărcii care traversează rîul (fig. VI-3). Dacă îşi începe deplasarea din punctul A şi trebuie să ajungă în punctul B traversînd rîul în linie dreaptă,

barca va trebui să înainteze şi puţin în contracurent, ca să compenseze antrenarea exercitată de apa rîului. Astfel, cînd străbate distanţa AC în raport cu apa, barca este antrenată în josul curentului pe distanţa CB. Evident că raportul BC/AC este egal cu raportul dintre viteza rîului şi viteza bărcii. Aplicînd teorema lui Pitagora triunghiului dreptunghic ABC, obţinem:

$$\overline{AB}^2 + \left(\overline{AC} \times \frac{v}{V}\right)^2 = \overline{AC}^2,$$

sau

$$\overline{AB}^2 = \overline{AC}^2 \times \left(1 - \frac{v^2}{V^2}\right),$$

sau

$$\overline{AC} = \frac{\overline{AB}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}.$$

Dacă $AB = L$, găsim că timpul de traversare şi de înapoiere este

$$t_{\uparrow\rightarrow} = \frac{2\,\overline{AC}}{V} = \frac{2L/V}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}.$$

Ca şi în cazul precedent, timpul este mai lung decît în cazul unei ape liniştite, însă factorul de corecţie $\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$ este mai mic decît în cazul precedent, cînd era $1 - \frac{v^2}{V^2}$.

Acum înlocuiţi rîul care curge cu vîntul de eter şi barca cu unda de lumină şi veţi avea experienţa Michelson-Morley. Aranjamentul experimental utilizat este arătat schematic în fig. VI-4. El era montat pe o placă de marmură care plutea în mercur, astfel încît putea fi rotită în jurul axei sale fără mare dificultate şi fără zdruncinături. O rază de lumină de la lampa L cădea pe o placă de sticlă aflată în centrul plăcii de marmură. Placa de sticlă era acoperită cu un strat subţire de argint care reflecta jumătate din

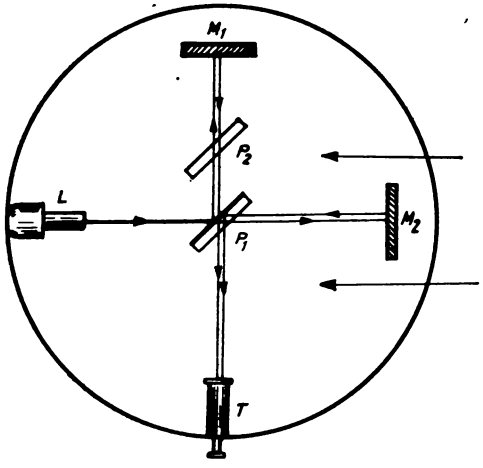


FIG. VI—4 Aparatul lui Michelson-Morley cu indicarea drumului razelor de lumină. Pentru comoditatea desenului razele care cad şi care sînt reflectate de oglinzile M_1 şi M_2 apar distanţate una de alta. Placa P_2 a fost introdusă pentru a compensa drumul suplimentar prin placa P_1 a razei care se îndreaptă spre M_2.

lumina incidentă, lăsînd să treacă cealaltă jumătate. Mai departe, cele două raze erau reflectate de către două oglinzi M_1 şi M_2, aşezate la distanţă egală faţă de centru. Întorcîndu-se la placa de sticlă argintată, raza reflectată de M_1 trecea parţial prin ea (nu ne interesează ce se întîmpla cu cealaltă parte a ei) în timp ce raza care se întorcea de la M_2 era parţial reflectată (cealaltă parte din rază nu ne mai interesează) şi ambele raze intrau în telescopul T. Dacă nu există vînt de eter, ambele raze vor ajunge în fază şi vor produce o iluminare maximă a cîmpului telescopului. Dacă ar exista un vînt de eter care ar sufla, să spunem, de la dreapta la stînga, raza care s-ar deplasa perpendicular pe vînt ar fi mai puţin întîrziată decît raza care s-ar deplasa în sensul contrar vîntului şi ar avea loc o interferenţă de extincţie cel puţin parţială. Desigur, aici se face numai o estimare în mare a situaţiei. Conform formulelor deduse mai sus, dar unde V trebuie înlocuit cu viteza luminii

c, raportul celor două perioade de timp, t_1 şi t_2, pentru lumina care se deplasează în cele două direcţii reciproc perpendiculare, este

$$\frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Raportul $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ este, în acest caz, egal cu $\left(\frac{3 \times 10^6}{3 \times 10^{10}}\right)^2 = 10^{-8}$ sau 0,000 000 01. Se poate arăta* că pentru valori mici ale raportului $\frac{v^2}{c^2}$, $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ poate fi destul de bine exprimat cu ajutorul formulei $1 - \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} = 1 - 0{,}000\,000\,005 =$ $= 0{,}999\,999\,995$. Astfel, diferenţa de timp presupusă pentru sosirea celor două unde este de numai 5 zecimi de milionime dintr-un procent. Totuşi ea este suficient de mare pentru a putea fi observată cu aparate optice sensibile. De fapt, dacă diametrul plăcii de marmură era 3 m (şi aceasta era aproape adevărat), durata totală a deplasării (de la placa de sticlă la oglindă şi înapoi) era de $\frac{300}{3 \times 10^{10}} =$ $= 10^{-8}$ s. Astfel, diferenţa dintre timpii de sosire ale celor două unde, la telescop, era:

$$5 \times 10^{-9} \times 10^{-8} = 5 \times 10^{-17} \text{ s.}$$

Pentru lungimea de undă de 6×10^{-5} cm perioada de vibraţie era:

$$\frac{6 \times 10^{-5}}{3 \times 10^{-10}} = 2 \times 10^{-15} \text{ s.}$$

Astfel, diferenţa dintre timpii de sosire era de $\frac{5 \times 10^{-17}}{2 \times 10^{-15}} =$ $= 2{,}5 \times 10^{-2}$ sau 2,5% din perioada de vibraţie, putînd produce o interferenţă de extincţie apreciabilă. În experienţa

* De fapt acesta era însuşi conţinutul primei lucrări matematice a lui Sir Isaac Newton.

de față, efectul era observat nu prin scăderea intensității, ci prin deplasarea unor serii de franje de interferență cu 2,5% din distanța dintre ele. Rotind aparatul cu 90° (aceasta era motivul pentru care îl făcuseră să plutească pe mercur) — schimbînd astfel rolul oglinzilor M_1 și M_2 — ar fi fost de așteptat o aceeași deplasare și în direcția opusă, încît deplasarea totală a franjelor să fie de 5% din distanța dintre ele și, dacă s-ar fi observat aceasta, atunci deplasarea ar fi arătat că viteza Pămîntului prin spațiu este de 30 km/s.

Ei bine, experiența a fost făcută, dar nu s-a observat nici o deplasare. Ce putea să fie? Era, oare, lumina antrenată 100% în sensul mișcării Pămîntului? Repetarea experienței lui Michelson cu un balon care plutea la înălțime deasupra Pămîntului a infirmat această posibilitate. În zadar își băteau fizicienii capul că nu reușeau să-i dea nici de cap nici de coadă. Atunci a venit fizicianul englez (și foarte irlandez) *G. F. Fitzgerald* cu o propunere revoluționară, sugerînd că toate corpurile materiale, care se mișcă cu viteza v prin eterul universal, se contractă în direcția de mișcare cu factorul $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. O astfel de contracție, care s-ar presupune că este aceeași pentru toate corpurile, independent de structura lor fizică, ar reduce distanța dintre placa de sticlă situată în centru și oglinda care respinge vîntul de eter din experiența Michelson-Morley exact cu cantitatea necesară pentru a face ca timpii de sosire să fie egali și să elimine orice deplasare a franjelor de interferență. S-au făcut numeroase încercări pentru a explica ipotetica „contracție Fitzgerald" prin interacțiunea forțelor electrice și magnetice dintre atomii care formează corpurile materiale, dar toate au rămas fără rezultat. Această curajoasă și ingenioasă propunere a inspirat o poezie umoristică* ale cărei versuri sunau astfel:

„Era cîndva un tînăr numit Fiske,
Mare autor de scrimă, un spadasin de soi

* *Limerick* (în engleză), poezie umoristică formată din cinci versuri. — *N.T.*

Ce duela atit de iute şi atita de vioi
Încit contracţia lui Fitzgerald
În disc îi prefăcea neobosita spadă".

Însă aici era numai jumătate şi nu întregul adevăr.

UN INTERMEZZO

Înainte de a ajunge să ne luăm la trîntă cu explicaţia lui Einstein asupra rezultatului negativ al experienţei Michelson-Morley, este amuzant să discutăm o problemă care, deşi nu are nimic de-a face cu teoria relativităţii, are totuşi o savoare relativistă. Un om călătoreşte cu o barcă, în contra curentului (fig. VI-5), pe un rîu; la pupa se găseşte o sticlă umplută pe jumătate cu whisky. În timp ce barca trece pe sub pod, un val reflectat de picioarele podului loveşte barca şi sticla cade în apă fără ca omul să observe. Apoi, timp de 20 min, barca îşi continuă drumul în contra curentului, în timp ce sticla pluteşte la vale. După cele 20 min scurse, omul observă că sticla lipseşte şi întoarce barca (neglijăm timpul necesar pentru această operaţie), deplasîndu-se acum în sensul curentului cu aceeaşi viteză faţă de apă ca şi mai înainte. El găseşte sticla la o milă mai jos de pod. Se pune întrebarea: care este viteza rîului? Încercaţi să rezolvaţi această problemă înainte de a citi mai departe şi veţi vedea cît de dificilă vi se pare. De fapt, pe mulţi matematicieni buni i-a pus în încurcătură problema.

Dar lucrurile devin foarte simple dacă, în loc să considerăm evenimentele descrise în raport cu malul apei, aşa cum ar fi natural, le-am descrie în raport cu apa rîului. Să presupunem că stăm pe o plută care pluteşte în sensul curentului şi privim în jur. În raport cu noi, apa va fi în repaus, dar malurile şi podul se vor mişca cu o anumită viteză. Pe lîngă noi trece o barcă şi sticla de whisky cade în apă. Barca îşi continuă drumul în timp ce sticla rămîne să plutească exact pe locul unde a căzut. (Să nu uităm: apa *nu* se mişcă faţă de noi.) După 20 min vedem că barca se roteşte pornind înapoi ca să redobîndească sticla. Desigur, vor mai trece 20 min pînă cînd barca va ajunge pînă la sticlă. Astfel,

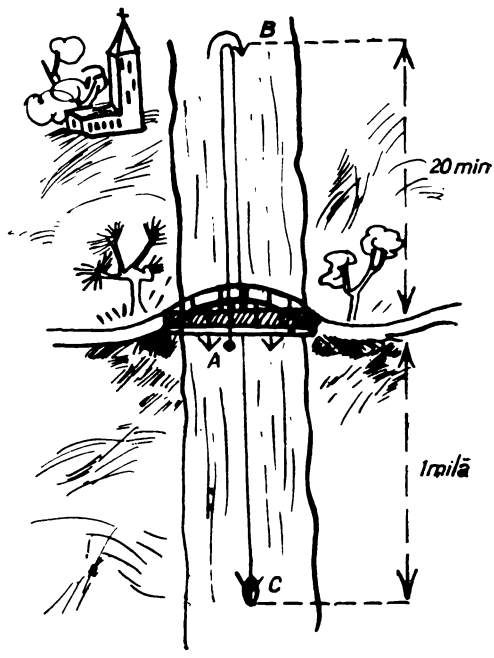


FIG. VI—5 Prezentarea problemei cu sticla căzută în apă.

sticla va sta în apă 40 min şi în timpul acesta, linia malului şi podul s-au deplasat cu 1 milă. Astfel, viteza podului faţă de apă, sau, ceea ce este acelaşi lucru, viteza apei faţă de pod şi de linia malului este de 1 milă în 40 min, sau $1\,^1/_2$ mile/h. Nu-i aşa că e simplu?

FRAGMENT BIOGRAFIC

Pentru o informare precisă trebuie spus că Albert Einstein (fig. VI-6) s-a născut la 14 martie 1879 în micul, dar faimosul (prin ai săi *Meistersingers**) oraş german Ulm, unde tatăl

* Nume dat poeţilor lirici germani din secolele XIV, XV şi XVI, maeştrii continuatori ai tradiţiei lor medievale în poezia de dragoste. Ulm este important în istoria literaturii germane ca fiind locul în care a dăinuit pînă în secolul al XIX-lea, s-a păstrat şi transmis de Meistersingers, fără text şi fără note, cîntecul tradiţional al breslei lor. -*N.R.*

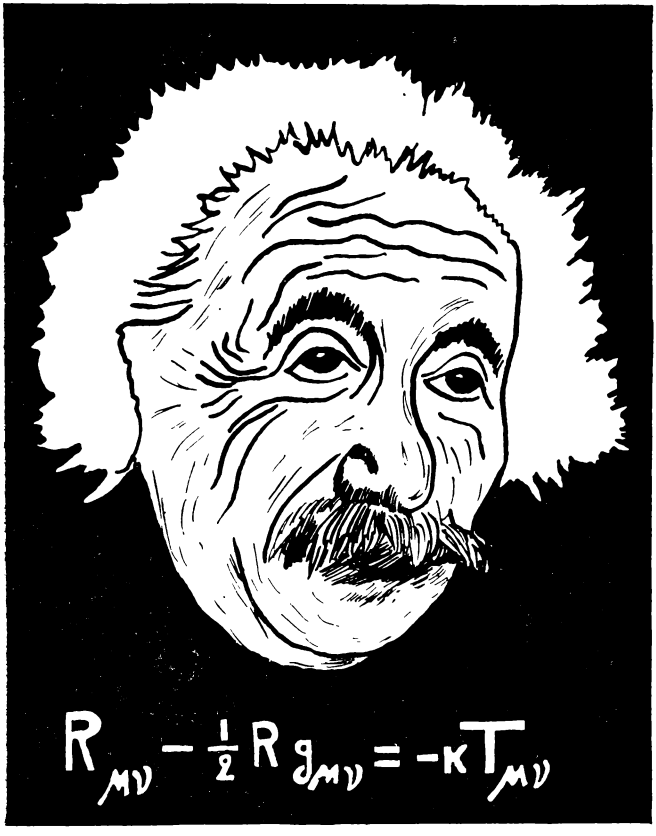


FIG. VI—6 Albert Einstein.

său avea o fabrică de articole electrotehnice. Copilăria şi-a petrecut-o la München, după care a plecat în Elveţia, unde a studiat la Şcoala politehnică din Zürich cîştigîndu-şi, în acest timp, existenţa prin meditaţiile date studenţilor mai puţin dotaţi la matematică şi fizică. În 1901 s-a căsătorit şi şi-a găsit un post liniştit, dar nu prea bine plătit, de examinator al patentelor la Oficiul elveţian de patente din Berna. În 1905, la vîrsta de 26 de ani, a publicat în revista germană „Annalen der Physick" trei articole care au

zguduit lumea ştiinţifică. Aceste trei articole se referă la trei domenii mari ale fizicii: căldura, electricitatea şi lumina. Unul dintre ele, menţionat în capitolul IV, conţine teoria detaliată a mişcării browniene, care a avut o importanţă fundamentală pentru interpretarea mecanică a fenomenelor calorice. Altul explica legile efectului fotoelectric pe baza ipotezei cuantelor, încă tînără la acea vreme, şi introducea noţiunea de pachete individuale de energie radiantă sau fotoni. Aceştia vor fi descrişi în capitolul următor. Cel mai important dintre cele trei articole pentru dezvoltarea fizicii purta un titlu cam obscur: *Asupra electrodinamicii corpurilor în mişcare* şi era dedicat paradoxurilor în măsurătorile vitezei luminii. Era primul articol asupra teoriei relativităţii.

RELATIVITATEA MIŞCĂRII

Dificultăţile şi contradicţiile acumulate referitoare la natura mediului ipotetic, răspunzător de interacţiunile electromagnetice şi de propagarea undelor luminoase, s-au încîlcit într-un nod de eter imposibil de deznodat, foarte asemănător cu legendarul nod din coajă de corn*, care lega jugul de oiştea carului anticului rege — ţăran grec — Gordius. Prezicerea unui oracol după care cel ce va desface nodul gordian va stăpîni toată Asia a fost îndeplinită de Alexandru cel Mare, care a tăiat nodul cu o lovitură a sabiei sale. La fel, Albert Einstein a devenit stăpînitorul fizicii moderne, tăind nodul eterului cu ascuţimea logicii sale şi aruncînd resturile eterului universal afară din templul ştiinţei fizicii.

Dar dacă nu eterul universal umple tot spaţiul universului, atunci nu poate fi vorba nici de mişcare absolută, deoarece nu te poţi mişca decît faţă de ceva. Astfel, spunea Einstein, se poate vorbi numai de mişcarea relativă a unui corp material faţă de altul sau a unui sistem de referinţă faţă de un alt sistem de referinţă, şi cei doi observatori plasaţi în aceste două sisteme de referinţă au dreptul, în mod egal, să spună: „eu sînt în repaus iar celălalt se mişcă". Dacă nu există eter universal care să constituie un sistem

* *Cornus*, arbust mic cu lemn foarte dur. -*N.R.*

de referință universal pentru mișcarea în spațiu, atunci nu poate exista nici o metodă pentru a pune în evidență o astfel de mișcare și deci orice concluzie referitoare la această mișcare trebuie stigmatizată ca lipsită de sens din punct de vedere fizic. De aceea, nici nu e de mirare că Michelson și Morley, măsurînd viteza luminii pe diferite direcții, în laboratorul lor, nu au putut detecta dacă laboratorul lor și însuși Pămîntul se mișcă sau nu prin spațiu.

Să ne amintim cuvintele lui Galilei amintite în carte:

„Închideți-vă împreună cu cîțiva prieteni în cea mai mare cameră de sub puntea unui vapor mare și asigurați-vă să aveți acolo țînțari, muște și alte mici insecte zburătoare. Luați, de asemenea, un ciubăr mare plin cu apă și introduceți înăuntru cîțiva pești; atîrnați de tavan o sticlă specială, din care să curgă, picătură cu picătură, apa pe care o conține, într-o altă sticlă cu gîtul subțire, așezată sub ea. Apoi observați, în momentul cînd corabia stă pe loc, cum micile insecte zboară prin cameră, în toate părțile, cu diferite viteze, cum înoată peștii, indiferent de direcție, și cum cad picăturile în sticla plasată dedesubt. De asemenea, aruncînd ceva spre prietenii dumneavoastră, la aceeași distanță, nu veți avea nevoie de mai multă forță într-o direcție decît în alta; sărind, veți străbate aceeași distanță și într-o parte, și în cealaltă.

Observînd aceste particularități, de care nu se îndoiește nimeni, atîta vreme cît vasul stă pe loc, ele ar trebui să decurgă la fel, cum am arătat mai sus, și cînd vaporul se mișcă cu orice viteză doriți, cîtă vreme însă mișcarea lui e uniformă, nu va avea fluctuații, încoace și încolo. Nu veți fi în stare să descoperiți nici cea mai mică alterare a tuturor efectelor descrise mai sus, și nici nu veți putea deduce, cu ajutorul vreunuia, dacă vaporul se mișcă sau stă pe loc".

Referindu-ne la experiența Michelson-Morley, putem parafraza cuvintele lui Galilei în felul următor: „Închideți-vă cu un asistent într-un mare laborator subteran și acolo procurați-vă surse de lumină, oglinzi și orice fel de instrumente optice. Și, de asemenea, orice fel de aparate cu care se pot măsura forțe electrice și magnetice, curenți etc. Apoi încercați să vă convingeți cu argumente logice că, dacă Pămîntul stă pe loc, propagarea razelor de lumină, interacțiunea sarcinilor, magneților și curenților electrici

nu ar depinde de poziţiile lor relative şi de direcţiile faţă de pereţii laboratorului dumneavoastră. Apoi presupuneţi că este adevărat faptul că Pământul se mişcă în jurul Soarelui, şi împreună cu Soarele în jurul centrului sistemului stelar al Căii Lactee. Nu veţi fi în stare să discerneţi nici cea mai mică modificare a tuturor efectelor enumerate mai sus şi nici nu veţi deduce cu ajutorul vreunuia dacă Pământul se mişcă sau stă pe loc.

Astfel, ceea ce era adevărat în cazul ţînţarilor, peştilor, picăturilor de apă şi al altor obiecte aruncate în corabia ipotetică a lui Galilei, care ar naviga în apele albastrei Mediterane, se arată a fi adevărat şi pentru undele de lumină şi pentru alte fenomene electromagnetice de pe Pământul care se mişcă prin spaţiu. Desigur, Galilei ar fi putut afla cu uşurinţă dacă corabia sa se mişcă faţă de Pământ sau nu, ieşind din cabină, pe punte şi privind apa sau linia ţărmului. La fel putem să stabilim şi noi mişcarea Pământului în jurul Soarelui şi a Soarelui faţă de stele, privind la stele şi observînd schimbarea poziţiilor lor aparente (deplasarea paralactică) şi lungimea de undă a luminii care vine de la ele (efectul Doppler). Însă, fără să privim în jur, este imposibil a detecta mişcarea prin spaţiu numai din observarea fenomenelor electromagnetice, aşa după cum e imposibil să o detectăm din observarea fenomenelor mecanice.

UNIFICAREA SPAŢIULUI ŞI TIMPULUI

Einstein a înţeles că această formă lărgită a principiului galilean al relativităţii mişcării cere o schimbare esenţială a ideilor noastre fundamentale despre spaţiu şi timp. Din timpuri imemoriale, spaţiul şi timpul au fost considerate ca două entităţi complet independente, şi marele Newton, în *Principiile* sale, scria:

„Spaţiul absolut, considerat în natura sa, fără nici o relaţie cu ceva extern, rămîne totdeauna asemenea şi imobil. Timpul absolut, adevărat şi matematic, în sine şi după natura sa, curge în mod egal fără nici o legătură cu ceva extern..."*

* I. Newton, *op. cit.*, pp. 30—31.

În timp ce definiţia lui Newton a spaţiului implica existenţa unui sistem absolut de referinţă pentru mişcarea care avea loc în el, definiţia pe care o dă el timpului implică existenţa unui sistem de cronometrare, care poate fi asigurat de un mare număr de cronometre sincronizate sau de simple ceasuri, plasate în diferite părţi ale spaţiului universal şi arătînd timpul standard universal. Prin verificarea experimentală a constanţei vitezei luminii s-a subminat ideea de spaţiu absolut şi de asemenea s-a dat cu piciorul sistemului universal de cronometrare. Pentru a înţelege această catastrofă a timpului universal, să vedem care este cea mai bună metodă de a sincroniza două ceasuri situate la o anumită distanţă unul de altul. Desigur, un funcţionar al Companiei timpului universal ar putea călători dintr-o localitate în alta, ducînd cu sine un cronometru al timpului standard universal pentru a potrivi ceasurile locale; este ceea ce au făcut în timpurile vechi navigatorii, ducînd cu sine cronometre pe corăbiile lor. Dar cine poate garanta că cronometrul nu va merge prost în timpul transportului? Sistemul modern de sincronizare se bazează pe semnalele radio care transportă informaţia despre timp cu viteza luminii. Pentru orice scop practic de sincronizare pe Pămînt, o mică întîrziere provocată de viteza finită a luminii poate fi uşor neglijată, însă desigur va fi importantă în cazul potrivirii timpului interplanetar, cînd întîrzierea poate fi de mai multe ore. Totuşi această dificultate poate fi uşor evitată făcînd ca semnalul să se ducă şi să se întoarcă, fiind reflectat (fără nici o întîrziere) la staţia de recepţie a semnalului. Astfel, dacă semnalul de timp a fost emis la timpul t_1 şi s-a întors la timpul t_2, potrivirea corectă a timpului la staţia de recepţie, în momentul sosirii sale, va fi $(t_1 + t_2)/2$. Deoarece, conform experienţei Michelson-Morley, viteza luminii în vid este întotdeauna aceeaşi, indiferent de condiţiile de mişcare, metoda descrisă mai sus trebuie să fie considerată ca absolut precisă şi fără obiecţii. Altă alternativă ar fi să se trimită două semnale luminoase în direcţii opuse, dintr-un punct situat exact la jumătatea distanţei dintre două staţii, şi să se considere că două ceasuri sînt sincronizate, dacă ele arată acelaşi timp în momentul cînd soseşte semnalul.

Următorul pas este să corelăm ceasurile la două sisteme care se mişcă uniform unul faţă de celălalt, de exemplu, două trenuri care se deplasează, unul faţă de altul, în sensuri opuse. Am ales exemplul cu trenurile, deoarece funcţionarii de la căile ferate sînt foarte mîndri de ceasurile lor mari la care ţin ca la nişte obiecte de mare preţ şi care arată întotdeauna ora exactă. Pentru a realiza sincronizarea, aşa cum am descris-o mai sus, ar trebui ca frînarul să-şi agite lanterna într-un punct, undeva, pe la mijlocul trenului, în timp ce mecanicul şi conductorul trenului, aplecîndu-se în afară, din locomotivă şi, respectiv, din cabină, ar verifica pe ceasurile lor ora exactă pe care ar vedea-o atunci cînd pe acestea ar cădea razele de lumină.

Procedeul descris ne aminteşte de vechea încercare a lui Galilei de a măsura viteza luminii cu ajutorul lanternei; desigur, nu ne gîndim aici că o astfel de experienţă ar putea, în mod real, să fie efectuată de echipele celor două trenuri. Aici e vorba mai degrabă de ceea ce Einstein numea „un experiment gîndit" *(Ein Gedankenexperiment)*, în care numai ne imaginăm situaţia şi încercăm să conchidem ce s-ar fi întîmplat, pe baza rezultatelor cunoscute ale experienţelor (de exemplu, cea a lui Michelson-Morley).

Utilizînd această metodă asupra ambelor trenuri, A şi B, putem sincroniza ceasurile fiecărui tren, iar acum rămîne problema comparării sincronizării din ambele trenuri. Compararea poate fi făcută în momentul cînd cele două trenuri ajung în acea poziţie în care locomotiva A trece prin dreptul cabinei B, iar cabina A, în dreptul locomotivei B (fig. VI-7). Desigur, în acel moment, mecanicul din A şi conductorul din B pot să-şi compare ceasurile direct, aplecîndu-se pe fereastră şi punîndu-şi ceasurile unul lîngă altul. Acelaşi lucru îl vor face conductorul din A şi mecanicul din B.

Putem corela aceste comparări directe de ceasuri cu compararea undelor de lumină descrisă mai înainte, presupunînd că cei doi frînari de pe A şi B îşi mişcă lanternele cînd ajung exact faţă în faţă, în deplasarea lor în sensuri opuse. În acest caz, desigur, va fi o singură undă luminoasă, deoarece ambele lanterne, practic, coincid.

Să considerăm acum rezultatul unui astfel de procedeu. Deoarece lumina se propagă cu o viteză finită, ei îi trebuie

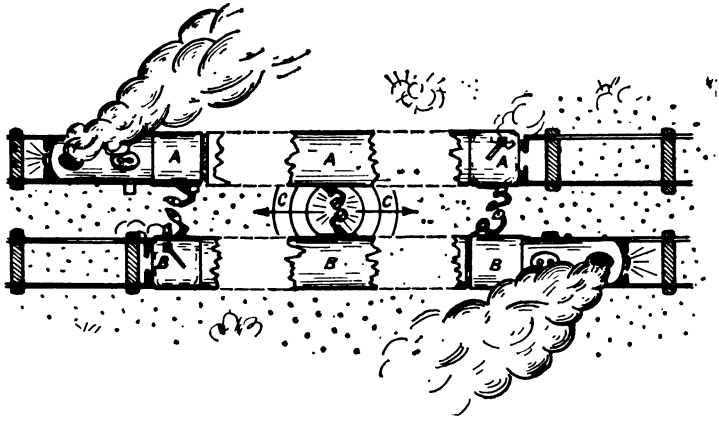


FIG. VI—7 Sincronizarea ceasurilor pe două trenuri care se mişcă unul faţă de altul.

un anumit timp pînă cînd ajunge la cele două capete ale trenului, şi, cînd în cele din urmă ajunge la ele, locomotiva *A* va fi în stînga cabinei *B*, în timp ce cabina *A* va fi în stînga locomotivei *B*. Astfel că, după ce a trecut de cabina *B*, luminii îi va trebui un oarecare interval de timp să ajungă la locomotiva *A*. Prin urmare, dacă pe baza înţelegerii privind metoda semnalului luminos pentru sincronizarea ceasurilor, mecanicul *A* şi conductorul *B* şi-ar fi potrivit ceasurile astfel, încît să arate acelaşi timp cînd mecanicul şi conductorul văd lumina, ceasul mecanicului *A* trebuie să fi rămas în urmă faţă de ceasul conductorului *B*, în momentul trecerii unuia prin faţa celuilalt. Din acelaşi motiv ceasul conductorului *A* trebuie să fie *înainte* faţă de ceasul mecanicului *B* în momentul întîlnirii. Deoarece însă cei din trenul *B* sînt siguri că ceasurile lor sînt corect sincronizate, pentru că au utilizat metoda semnalului luminos, ei vor insista că potrivirea ceasurilor din trenul *A* este greşită şi că ceasul de pe locomotiva *A* merge *în urmă* faţă de ceasul din cabina ultimului vagon al aceluiaşi tren. La fel, cei din trenul *A*, considerînd că ceasurile lor sînt corecte, vor avea îndoieli asupra sincronizării din *B*. Mecanicul din *A* va spune că ceasul conductorului din *B* este *înainte* faţă de timpul exact, în timp ce conduc-

torul din A va susține că ceasul mecanicului din B e *în urmă*. Ambii vor fi însă de acord că sincronizarea ceasurilor din trenul B este cu siguranță greșită și că ceasul de pe locomotiva B merge *în urmă* față de cel din cabina B. Disputa nu va putea fi rezolvată, deoarece trenurile A și B nu au nici o prioritate unul față de altul și trebuie să conchidem că *ceasurile sincronizate într-un sistem vor apărea nesincronizate cînd sînt privite din alt sistem care se mișcă față de primul și invers*. Cu alte cuvinte, *două evenimente care au loc simultan într-un sistem, la o anumită distanță* (lungimea trenului, de exemplu) *vor apărea nesimultane cînd le vom observa din alt sistem care se mișcă față de acesta*. Astfel, spațiul este cel puțin parțial interschimbabil cu timpul, și o separare pur spațială a două evenimente dintr-un sistem conduce la o anumită diferență de timp între ele cînd le privim din alt sistem în mișcare.

Pentru a ilustra această afirmație, să considerăm un om care își ia masa în vagonul restaurant al unui tren aflat în mișcare. Mai întîi el mănîncă supa, apoi cotletul și apoi desertul. Aceste evenimente se întîmplă în același loc (aceeași masă) în raport cu trenul, însă la momente diferite. Totuși, din punctul de vedere al unui observator care se află pe pămînt, călătorul își mănîncă supa și desertul la distanță de cîteva mile. Acest fapt banal poate fi formulat astfel: *Evenimentele care se desfășoară în același loc, însă în momente de timp diferite într-un sistem, se desfășoară în locuri diferite dacă sînt observate dintr-un alt sistem care se mișcă față de primul*. Acum să înlocuim, în afirmația precedentă, cuvîntul „loc" prin „timp", și invers, și vom citi: *Evenimentele care se desfășoară în același timp* (adică simultan), *însă în locuri diferite într-un sistem, se desfășoară în momente de timp diferite dacă sînt observate dintr-un alt sistem care se mișcă față de primul*. Acesta este chiar rezultatul la care am ajuns mai înainte.

Dacă un interval de timp egal cu zero devine mai mare decît zero cînd e privit dintr-un sistem în mișcare, atunci *o diferență finită de timp dintre două evenimente trebuie să crească cînd este observată din același sistem*. Aceasta este celebra *dilatare a timpului* sau rămînerea în urmă a ceasurilor (din toate procesele fizice, chimice și biologice) cînd sînt observate dintr-un sistem de mișcare. Ca toate feno-

menele relativiste, dilatarea timpului este simetrică față de două sisteme care se mișcă unul față de altul. În timp ce, după observațiile celor din trenul B, care trece pe lîngă trenul A, ceasurile acestuia din urmă întîrzie, cei din trenul A vor susține că ceasurile din trenul B rămîn în urmă. Se poate arăta că rămînerea în urmă, relativistă, a ceasului, la care ne putem aștepta, e dată de formula

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

care e similară cu aceea a contracției Fitzgerald, cu excepția faptului că radicalul se află la numitor.

Încetinirea tuturor proceselor fizice într-un sistem care se mișcă rapid a fost observată direct în cazul dezintegrării „mezonilor", particule elementare nestabile, ce constituie o parte esențială a radiației cosmice, care cade pe suprafața Pămîntului cu o viteză extrem de mare. Ea va fi discutată în amănunt în ultimul capitol al acestei cărți. Ideea este de a plasa, pe un satelit care circulă pe o orbită în jurul Pămîntului, un ceas atomic cu un mecanism extrem de precis, în care mișcarea indicatoarelor este sincronizată cu vibrațiile moleculelor unui gaz aflat înăuntru. Comparînd cu ajutorul unor semnale radio ritmul ceasului de pe satelit cu al unuia similar care s-ar găsi pe Pămînt, ar fi posibil să se verifice valabilitatea efectului dilatării timpului pe o scară mai mare.

MECANICA RELATIVISTĂ

Contracția distanțelor și dilatarea intervalelor de timp, cînd sînt privite dintr-un sistem în mișcare, necesită o schimbare categorică a formulelor care leagă măsurătorile spațiale și de timp dintr-un sistem de coordonate cu măsurătorile acelorași mărimi efectuate din alt sistem care se mișcă în raport cu primul. Să considerăm două sisteme de coordonate (x,y) și (x',y'), care se mișcă unul față de altul cu viteza v și să determinăm timpul în ambele sisteme, din momentul cînd originile lor O și O' coincid una cu alta. Să considerăm un obiect P, care este în repaus în sis-

temul prim de coordonate, la distanţa x' faţă de originea O'. Care este coordonata x a acestui obiect în sistemul O, la timpul t, sau, cu alte cuvinte, care va fi distanţa faţă de originea O? Răspunsul este foarte simplu, dacă utilizăm punctul de vedere clasic, newtonian. În intervalul de timp t, originile celor două sisteme de coordonate se vor îndepărta una de alta cu o distanţă vt, astfel încît:

$$x' = x + vt.$$

De asemenea, putem adăuga şi formula

$$t' = t,$$

care, pur şi simplu, reformulează definiţia timpului absolut dată de Newton. Înainte de Einstein, aceste două formule, denumite azi „transformarea galileiană a coordonatelor", erau considerate ca fiind ceva de la sine înţeles, iar cea de-a doua formulă nici măcar nu a fost însemnată pe undeva. Însă posibilitatea unei transformări parţiale a distanţelor spaţiale în diferenţe de timp a cerut înlocuirea acestor formule, care păreau banale, cu altele mai complicate şi se poate arăta că pentru a satisface condiţia de constanţă a vitezei luminii şi a altor efecte relativiste, discutate mai înainte, vechile transformări galileiene trebuie înlocuite prin noul sistem:

$$x' = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

$$t' = \frac{t + \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Aceste expresii, cunoscute sub numele de transformări Lorentz, au fost deduse de fizicianul olandez H.A. Lorentz, imediat după publicarea rezultatelor experienţei Michelson-Morley, însă au fost considerate de către autorul lor, ca şi de către alţi fizicieni ai timpului, mai mult sau mai puţin nişte amuzante speculaţii matematice. Einstein a fost

primul care a înțeles că transformările Lorentz corespund de fapt realității fizice și cer o foarte serioasă schimbare în vechiul mod de a concepe înțelesul noțiunilor o b i ș n u i t e de spațiu, timp și mișcare.

Remarcăm că, în timp ce transformările lui Galilei nu erau simetrice față de coordonatele de spațiu și timp, transformările Lorentz sînt simetrice. Calculînd noul timp t', trebuie să adăugăm la t un termen suplimentar, care depinde de viteza relativă v și e similar termenului adăugat vechii coordonate spațiale x pentru a obține noua coordonată spațială x'. În toate cazurile întîlnite în viața de toate zilele, unde toate vitezele cu care avem de-a face sînt mult mai mici decît viteza luminii ($v \ll c$), termenul al doilea de la numărătorul formulei transformării timpului devine, practic, zero; iar numărătorul ambelor formule devine practic 1. Aceasta ne aduce înapoi la vechile transformări galileiene. Dar dacă vitezele implicate sînt comparabile cu viteza luminii, termenul adițional din formula transformării timpului conduce la distrugerea noțiunii de simultaneitate absolută, în timp ce factorul de sub radical conduce la contracția distanțelor și dilatarea timpului.

E necesar, la acest punct, să discutăm o neînțelegere referitoare la contracția relativistă a lungimii. Această neînțelegere a existat printre fizicieni timp de 54 de ani, din momentul publicării lucrării originale a lui Einstein, în 1905, pînă cînd a fost lămurită într-o lucrare scurtă și critică, publicată de tînărul fizician american Terrell, în 1959. S-a crezut întotdeauna că contracția lungimii cu factorul $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ar putea fi cu adevărat observată privind un obiect în mișcare, dacă s-ar putea realiza viteze apropiate de viteza luminii. Astfel, un om care călătorește într-un avion al companiei Pan-American* ar vedea un avion TWA* care ar trece prin apropiere, în direcție opusă (împotriva tuturor regulamentelor FAA!)**, contractat, de la cabina de comandă pînă la coada avionului, în timp ce pasagerul de pe TWA ar observa că se întîmplă același lucru cu avionul Pan-American. Terrell a arătat că această

* Companii aeriene de transport din S.U.A. -*N.T.*

** Federation of American Airways.

concepție nu este corectă și că din punctul de vedere al *observației vizuale*, a unui obiect care se mișcă repede, acesta nu va apărea cu nimic mai scurt decît este în repaus. Acest rezultat se datorește faptului că, din cauza vitezei finite a luminii, vom vedea lumina, care vine de la capul și de la coada avionului în trecere, cu diferite întîrzieri, și că această diferență de timp va anula efectul contracției relativiste a lungimii. Dacă lumina s-ar fi propagat cu o viteză infinită, această eroare de observare nu ar exista, însă atunci, desigur, pentru $c = \infty$, contracția relativistă a lungimii ar fi, oricum, zero, pentru orice valoare a vitezei relative a celor două sisteme.

Conform argumentării lui Terrell, în timp ce contracția relativistă a luminii nu poate fi văzută de vreun observator individual, ea ar putea fi fotografiată dacă mărimea lentilei ar fi mai mare decît lungimea obiectului care se mișcă. Ne-am putea imagina un avion special pentru fotografiat, echipat cu un aparat fotografic care se întinde de la capul la coada avionului. Acest aparat fotografic ar trebui să aibă o lentilă cilindrică lungă și un „obturator simultan", adică un obturator care închide simultan cîmpul vizual de la capul și pînă la coada avionului (în sistemul de sincronizare a timpului valabil pentru avion). Dacă un astfel de avion ar trece pe lîngă un obiect neidentificat, care s-ar mișca repede în direcție opusă, și ar fotografia acest obiect, fotografia ar arăta toate caracteristicile contracției relativiste a lungimii. Se înțelege de la sine că dacă obiectul neidentificat ar putea fotografia avionul cu aparatul de fotografiat, ar transmite pilotului prin radio: „Și tu ești mai scurt!".

Nu e locul în această carte să ne ocupăm mai pe larg de consecințele matematice ale transformărilor Lorentz, ci vom indica numai rezultatele cele mai importante la care conduc ele. Unul dintre acestea se referă la adunarea a două viteze. Să presupunem o navă portavion străbătînd oceanul cu o viteză de aproximativ 35 de noduri, adică cu aproximativ 40 mile/h, și un motociclist care merge pe punte, de la pupă la pră, cu o viteză de 60 mile/h (fig. VI-8). Care

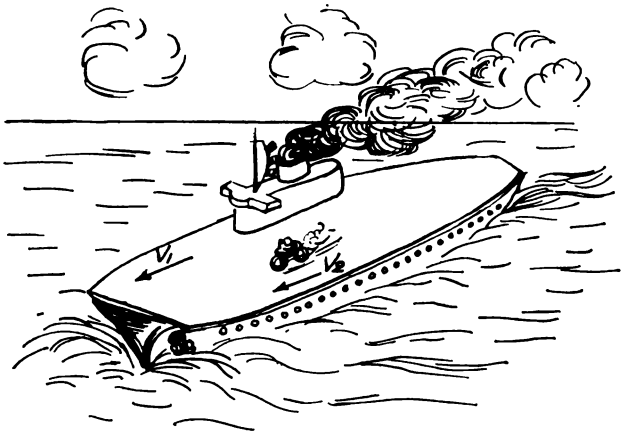


FIG. VI—8 Adunarea relativistă a celor două viteze.

este viteza motocicletei față de apă? În mecanica clasică răspunsul e simplu: $40 + 60$, adică 100 mile/h. Însă această regulă simplă de adunare a vitezelor nu poate fi adevărată în mecanica relativistă. De fapt, dacă viteza vasului și a motocicletei sînt, ambele, să zicem, 75% din viteza luminii (ceea ce e posibil, cel puțin în principiu), viteza motocicletei față de apă ar fi cu 50% mai mare decît viteza luminii. Formula relativistă pentru adunarea vitezelor, v_1 și v_2, este:

$$V = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}},$$

unde V este viteza rezultantă. Se poate vedea ușor că dacă ambele, v_1 și v_2, sînt mai mici decît c, V, de asemenea, va fi mai mic decît c. De fapt, chiar dacă am pune $v_1 = c$, am obține:

$$V = \frac{c + v_2}{1 + \frac{cv_2}{c^2}} = \frac{c + v_2}{1 + \frac{v_2}{c^2}} = \frac{c(c + v_2)}{c + v_2} = c;$$

aceasta înseamnă că orice viteză adăugată la viteza luminii nu o măreşte pe aceasta cu nici o cantitate. Dacă punem $v_1 = c$ şi $v_2 = c$, obţinem din nou:

$$V = \frac{c + c}{1 + \frac{c \times c}{c^2}} = \frac{2c}{1 + 1} = c.$$

Formula relativistă de adunare a vitezelor explică experienţa lui Fizeau, descrisă mai înainte, care a avut loc cam cu o jumătate de secol în urmă. Substituind pentru v_1, valoarea vitezei luminii c/n în apă, şi scriind în locul lui v_2, simplu, v pentru viteza apei în tub, obţinem:

$$V = \frac{c/n + v}{1 + \frac{cv}{nc^2}} = \frac{c/n + v}{1 + \frac{v}{nc}}.$$

Înmulţind numărătorul şi numitorul cu $\left(1 - \frac{v}{nc}\right)$, obţinem mai departe:

$$V = \frac{(c/n + v)(c/n - v)}{1 - v^2/n^2c^2} = \frac{c/n + v - v/n^2 + v^2/nc^2}{1 - v^2/n^2c^2}.$$

Acum, deoarece viteza v este cu mult mai mică decît c, $\left(\frac{v}{c}\right)$ este un număr foarte mic, iar $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ este încă şi mai mic. Astfel, neglijînd termenii conţinînd v^2/c^2 din formula de mai sus, obţinem:

$$V = \frac{c}{n} + v - \frac{v}{n^2} = \frac{c}{n} + v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right),$$

care este tocmai formula empirică a lui Fizeau. Prin urmare nu există „antrenarea eterului" de către fluidul care se mişcă, iar viteza rezultantă este, pur şi simplu, suma relativistă a vitezei luminii din lichid şi a vitezei curgerii lichidului prin tub.

O altă consecinţă importantă a mecanicii relativiste este aceea că masa unei particule în mişcare nu rămîne constantă ca în cazul sistemului newtonian, ci creşte cu creşterea vitezei. Factorul care influenţează masa corpurilor

în mişcare este acelaşi ca şi cel care influenţează contracţia lungimii şi dilatarea timpului, iar masa corpului care se mişcă cu viteza v este dată de expresia:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

unde m_0 este aşa-numita „masă de repaus", adică rezistenţa inerţială faţă de forţa care tinde să mişte particula aflată iniţial în repaus. Cînd viteza particulei creşte, apropiindu-se de viteza luminii, e din ce în ce mai greu să-i măreşti viteza şi la $v=c$ rezistenţa faţă de o ulterioară accelerare devine infinit de mare. Aceasta ne oferă un alt aspect al concluziilor fundamentale ale teoriei relativităţii, conducînd la faptul că nici un corp material nu poate să se mişte mai repede decît lumina; de fapt, din cauza creşterii rezistenţei inerţiale, energia care ar fi necesară pentru a accelera un corp material pînă la viteza luminii devine infinită.

ECHIVALENŢA MASĂ-ENERGIE

Lăsînd la o parte noţiunea de eter universal şi aducînd spaţiul interstelar la starea lui prealabilă de vid, Einstein a trebuit să facă ceva pentru a păstra realitatea fizică a undelor de lumină şi a cîmpurilor electromagnetice în general. Dacă nu există eter, *ce* înconjură sarcinile electrice şi magneţii, şi *ce* se propagă prin vid aducîndu-ne lumina Soarelui şi a stelelor? Aceasta s-ar putea face numai considerînd cîmpul electromagnetic ca fiind un anumit fel de mediu material, chiar dacă e complet diferit de mediile materiale obişnuite cu care sîntem bine familiarizaţi. În fizică, adjectivul „material" e echivalent cu „ponderabil", adică avînd o anumită greutate sau masă. Astfel, sarcinile electrice şi magneţii trebuie să fie înconjuraţi de o anumită substanţă ponderabilă — chiar dacă aceasta ar fi foarte uşoară — care e relativ densă în apropierea lor, şi se rareşte, tinzînd spre zero, la distanţa la care forţele electrice şi magnetice dispar. În mod similar, razele de lumină ar trebui să fie imaginate ca fiind curenţii vibratori ai acestei substanţe emise de corpurile luminoase (la fel cum sînt

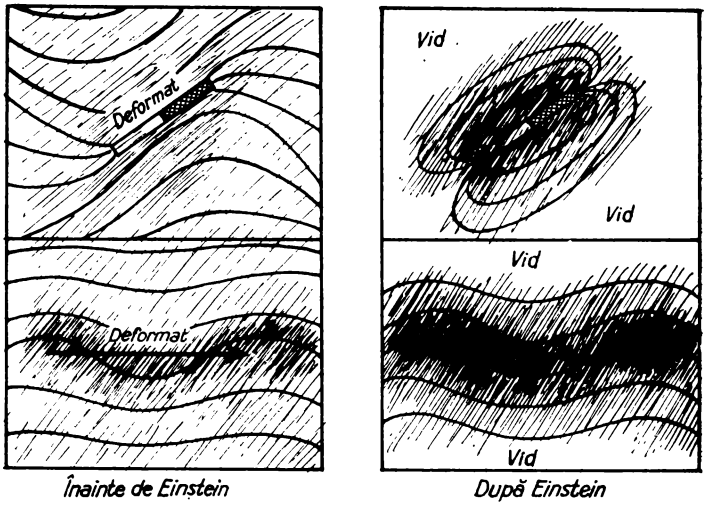


FIG. VI—9 Vechea şi noua noţiune de cîmp electromagnetic. Înainte de Einstein se credea că atotpătrunzătorul eter universal era deformat în regiunea cîmpului electromagnetic. Acum ne închipuim cîmpul electromagnetic ca fiind o entitate fizică (ponderabilă) care există prin ea însăşi într-un spaţiu vid.

aruncate jeturile de apă din furtunurile grădinilor) ţîşnind prin spaţiul vid. Diferenţa dintre noile şi vechile concepţii este ilustrată schematic în fig. VI-9. În timp ce, iniţial, s-a presupus că eterul universal este distribuit uniform prin spaţiu, iar cîmpurile electrice şi magnetice erau considerate numai ca anumite deformări ale lui, noua substanţă „eterică" se presupune că există numai în locul în care sînt prezente forţele electrice şi magnetice şi că nu este atît purtătoarea acestor forţe, cît însăşi materializarea lor. Proprietăţile fizice ale acestei substanţe nu mai trebuie descrise cu ajutorul vechilor semnificaţii ale unor noţiuni, ca: rigiditatea, elasticitatea etc. aplicabile numai corpurilor materiale compuse din atomi şi molecule, ci cu ajutorul ecuaţiilor lui Maxwell, care descriu în detaliu orice interacţiune electromagnetică. Acest nou punct de vedere cere un anumit timp şi efort pentru a fi asimilat, dar el elibe-

rează mintea de vechiul punct de vedere materiomorfic (ca şi antropomorfic) asupra luminii.

Dar care sînt argumentele pentru a atribui o masă ponderabilă acestei noi substanţe „eterice", şi cîtă masă trebuie să i se atribuie? Cea mai simplă cale de a răspunde la această problemă este să vedem ce se întîmplă cînd un fascicul luminos cade pe o oglindă şi e reflectat de ea. Se ştie, în fizică, de multă vreme, că lumina reflectată de o oglindă exercită asupra ei o anumită presiune, care, nefiind destul de mare pentru a împinge oglinda ce stă în faţa unei lumînări, reuşeşte să împingă moleculele de gaz din corpurile cometelor ce se apropie de Soare. Aceste molecule de gaz formează o coadă strălucitoare întinsă pe cer. Existenţa presiunii luminii a fost pusă în evidenţă pentru prima dată în laborator de către fizicianul rus P.L. Lebedev şi s-a dovedit că este numeric egală cu de două ori cantitatea de energie reflectată, împărţită la viteza luminii.

O analogie mecanică apropiată presiunii exercitate de fasciculul de lumină reflectat de către o oglindă o constituie presiunea exercitată de un şuvoi de apă dintr-un furtun de grădină îndreptat asupra unei planşete (fig. VI-10). Conform legilor mecanicii clasice, presiunea exercitată de un fascicul de particule materiale asupra unui perete de care se reflectă este egală cu variaţia impulsului particulelor sau cu „cantitatea de mişcare" din terminologia newtoniană (vezi cap. IV). Dacă m este masa apei transportată de şuvoi în unitatea de timp, şi v viteza şuvoiului, variaţia impulsului este $2mv$, deoarece impulsul se modifică de la $+mv$ la $-mv$ [desigur $mv-(-mv) = mv+mv = 2mv$].

Dacă aplicăm aceeaşi demonstraţie unui fascicul de lumină reflectat de o oglindă, va trebui să-i atribuim un impuls egal cu produsul dintre „masa de lumină" m, care cade pe oglindă în unitatea de timp, şi viteza lui c. Deci, pentru presiunea luminii, vom avea:

$$p_{\text{lumină}} = 2\,mc.$$

Comparînd această expresie cu relaţia empirică

$$p_{\text{lumină}} = \frac{2\,E}{c},$$

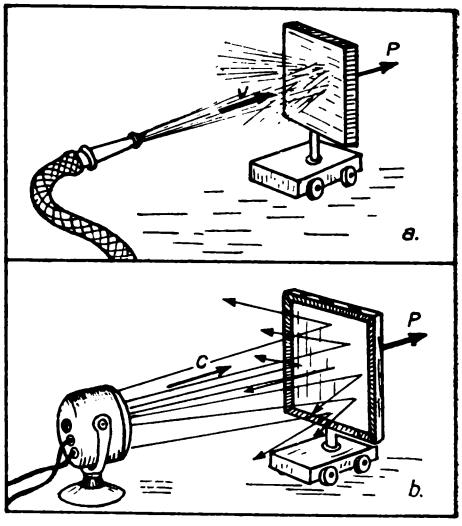


FIG. VI – 10 Reflexia jetului de apă de către o planşetă mobilă *(a)* şi reflexia luminii de către o oglindă mobilă *(b)*.

menţionată mai înainte, ajungem la concluzia că:

$$m = \frac{E}{c^2} \quad \text{sau} \quad E = mc^2.$$

Aceasta este faimoasa lege a lui Einstein a „echivalenţei masă-energie", care atribuie energiei radiante „imponderabile" din fizica clasică o cantitate egală de materie ponderabilă obişnuită. Deoarece c^2 este un număr foarte mare, şi anume 9×10^{20}, masa cantităţilor apreciabile de energie radiantă este foarte mică, dacă o exprimăm în unităţi obişnuite. Astfel o lampă blitz, cu un bec de 10 W, care emite 6×10^9 erg de lumină/min devine mai uşoară cu $\frac{6 \times 10^9}{9 \times 10^{20}} = 7 \times 10^{-12}$ g. Soarele, însă, pe de altă parte, pierde 4×10^{11} t/d prin scurgerea radiaţiilor sale în spaţiul învecinat.

Relaţia dintre masă şi energie trebuie, desigur, să fie generalizată la toate celelalte feluri de energie. Cîmpurile care înconjură conductorii încărcaţi electric şi magneţii

devin o realitate fizică ponderabilă, deşi masa, de exemplu a unui cîmp care înconjură o sferă de cupru de 1 m în diametru şi încărcată la potenţialul de 1 kV, cîntăreşte 2×10^{-22} g, în timp ce cîmpul unui magnet obişnuit de laborator ar înclina balanţa cu numai 10^{-15}g.

Energia calorică trebuie, de asemenea, să posede o masă ponderabilă, şi 1 l de apă la 100°C cîntăreşte cu 10^{-20} g mai mult decît aceeaşi cantitate de apă rece, în timp ce energia totală eliberată de o bombă atomică de 20 kt cîntăreşte aproximativ 1 g.

Trebuie să spunem cîteva cuvinte despre afirmaţia care mai circulă prin coloanele ziarelor şi revistelor de popularizare asupra faptului că relaţia energie-masă a lui Einstein ar fi stat la baza inventării bombei atomice. Este cu totul inexact, pentru că am putea spune cu acelaşi drept că această relaţie stă la baza descoperirii nitroglicerinei de către Nobel sau la baza invenţiei maşinii cu abur de către Watt. În toate cazurile în care are loc o transformare fizică sau chimică, cu eliberarea unei anumite cantităţi de energie, masa produselor rezultante este mai mică decît masa componentelor iniţiale, cu o cantitate egală cu masa atribuită energiei eliberate. Astfel, gazele care rezultă din explozia nitroglicerinei cîntăresc mai puţin decît cantitatea iniţială de exploziv; vaporii care ies dintr-o maşină cu abur cîntăresc mai puţin decît apa fierbinte din cazan; iar greutatea gazelor eliberate şi a cenuşei unui lemn ars cîntăresc mai puţin decît buturuga de lemn iniţială. Însă în toate aceste cazuri, greutatea energiei eliberate este atît de mică în comparaţie cu greutatea materialului iniţial, încît nu poate fi măsurată nici prin utilizarea celor mai precise balanţe. Nici un fizician nu poate observa diferenţa în greutate între un pahar cu apă caldă şi unul cu apă rece şi nici un chimist nu a detectat vreodată diferenţa dintre greutatea apei şi greutatea oxigenului şi hidrogenului gazos care, atunci cînd se combină, dau cantitatea respectivă de apă.

În cazul reacţiilor nucleare, cantităţile de energie produse sînt mult mai mari, şi deşi ar fi o muncă imposibilă să aduni toate produsele de fisiune ale unei bombe ca să verifici că greutatea lor este mai mică cu 1 g decît nucleul iniţial de plutoniu, totuşi prin metodele experimentale sensibile

ale fizicii nucleare se pot determina valorile exacte ale maselor atomilor individuali, precum şi diferenţa dintre masele compuse ale atomilor care intră într-o reacţie nucleară şi acelea care rezultă din reacţie. Dar această diferenţă este doar de ordinul de mărime al preciziei. Astfel, rolul lui Einstein în dezvoltarea bombei atomice a fost nu atît formularea legii $E = mc^2$, cît scrisoarea pe care el a scris-o preşedintelui Roosevelt care, datorită marii autorităţi a lui Einstein, a pornit proiectul Manhattan.

Un corp material care se mişcă cu o anumită viteză duce cu sine o energie cinetică de mişcare şi o masă suplimentară corespunzătoare acestei energii, care explică creşterea relativistă a masei. Legea de echivalenţă a lui Einstein se aplică şi transformărilor particulelor elementare. Pentru a crea o pereche electron antielectron (sau proton antiproton) e nevoie să se furnizeze o cantitate de energie echivalentă cu masa lor combinată, şi aceeaşi cantitate de energie se eliberează sub forma unei radiaţii de frecvenţă înaltă, atunci cînd două particule se anihilează reciproc.

LUMEA CELOR PATRU DIMENSIUNI

Contracţia relativistă a spaţiului este matematic echivalentă cu contracţia Fitzgerald a obiectelor în mişcare, însă, în timp ce Fitzgerald considera contracţia ca un efect fizic, real, cauzat de mişcarea corpurilor materiale prin eter, teoria relativităţii o consideră ca o aparentă contracţie a distanţelor, cînd sînt privite dintr-un sistem de mişcare. Atît contracţia spaţială, cît şi dilatarea timpului sînt simetrice faţă de ambele sisteme în stare de mişcare relativă. Ori de cîte ori distanţele spaţiale se contractă, intervalele de timp se lungesc, ceea ce este, într-un fel, analog cazului proiecţiilor verticale şi orizontale ale unui baston de o anumită lungime L. Dacă bastonul este plasat vertical, atunci proiecţia sa verticală este zero, iar proiecţia sa orizontală este L. Dacă este plasat orizontal, proiecţia sa verticală este L, iar cea orizontală, zero. Dacă bastonul este aşezat astfel, ca să facă un unghi Θ, ambele sale proiecţii, verticală şi orizontală, sînt diferite de zero.

Însă, indiferent de unghiul Θ, din teorema lui Pitagora va rezulta:

$$\Delta x^2 + \Delta y^2 = L^2.$$

Această analogie l-a condus pe matematicianul german H. Minkowski (ale cărui lucrări au urmat imediat după primele publicații ale lui Einstein) la concluzia că timpul ar putea fi considerat, într-un anume fel, ca o a patra coordonată complementară la spațiul cu trei dimensiuni și că mișcarea unui sistem față de un altul poate fi tratată ca o rotație a acestui sistem de coordonate patrudimensional.

În viața de toate zilele, noi deosebim evenimentele atribuindu-le informații de loc și de timp; spunem că întîlnirea va avea loc la etajul 15, în clădirea din colțul străzilor Sixth Avenue (aleea 6) și strada 32, la ora 8 seara. Și sîntem obișnuiți să facem diagrame în care pozițiile sînt reprezentate în funcție de timp. Însă astfel de diagrame, care nu sînt cu mult diferite de diagramele care arată schimbarea prețurilor mărfurilor de pe piață de la o lună la alta, nu sînt altceva decît o reprezentare grafică a dependenței dintre două cantități corelate și nu pot fi considerate în nici un fel ca fiind supuse vreunei reguli sau operații geometrice standard. Dacă timpul ar trebui considerat cu adevărat cea de-a patra coordonată, înainte de toate el ar trebui să poată fi măsurat în aceleași unități ca și cele trei coordonate spațiale. Aceasta s-ar putea face dacă am înmulți timpul, inițial dat în secunde, cu o anumită viteză standard, care ar conduce la distanțe exprimate în centimetri, adică la fel ca și cele trei coordonate spațiale. Ar fi nelogic să se aleagă în acest scop vreo valoare arbitrară, cum ar fi viteza limită admisă pe șosea (care depinde de legislația locului respectiv), sau chiar viteza sunetului (care depinde de mediu și de temperatură). Evident, cea mai bună alegere va fi viteza luminii în vid, care este aparent legată de legile fundamentale ale naturii, și a fost verificată cu ajutorul experienței Michelson-Morley, că este constantă. Astfel, utilizînd x, y și z pentru primele trei coordonate (spațiale), vom folosi ct pentru cea de-a patra coordonată (timpul). Dar acesta este abia începutul la ceea ce ar fi de făcut. În cazul coordonatelor spațiale x,y și z, toate trei se pot schimba între ele, astfel că lungi-

mea unei cutii de lemn devine înălțimea ei, dacă o întoarcem pe o parte. Este clar că o astfel de interschimbare completă nu poate avea loc în cazul coordonatelor de timp și de spațiu. Altfel, am putea transforma un ceas într-un metru de măsurat lungimile și invers! Astfel, dacă timpul trebuie considerat a patra coordonată, va trebui nu numai să-l înmulțim cu c, ci și cu încă un factor care, fără să strice armonia sistemului de coordonate patrudimensional, ar face ca coordonata timp să fie, din punct de vedere fizic, *diferită* de cele trei coordonate spațiale. Matematica ne-a pus la îndemînă un astfel de factor care este „unitatea imaginară" și se notează cu simbolul i. O „unitate imaginară" se definește ca fiind rădăcina pătrată din minus 1:

$$i = \sqrt{-1}.$$

Deoarece, conform algebrei elementare, $(+1)^2 = +1$ și, de asemenea, $(-1)^2 = +1$, numărul i nu își are locul printre numerele obișnuite, pozitive sau negative, și de aceea a căpătat denumirea de unitate imaginară. Ea nu se utilizează în calculele uzuale și, în timp ce „a avea 1$" înseamnă că în contul dumneavoastră de la bancă există un dolar și „a avea (-1) $" înseamnă că aveți un dolar datorie, i $ nu înseamnă nimic în operațiile bancare.

Însă matematicienii și fizicienii teoreticieni au găsit o utilizare foarte convenabilă a lui i în calculele lor, cu condiția ca să dispară în rezultatele finale care trebuie să aibă o interpretare fizică. Și aceasta se întîmplă întotdeauna cînd rezultatele finale conțin numai pătratele lui i, deoarece $i^2 = -1$ și este un număr negativ obișnuit. Să utilizăm deci „unitatea imaginară" ca un cofactor suplimentar și să scriem că cea de-a patra coordonată este ict. Deoarece este imposibil să desenezi patru axe reciproc perpendiculare, să omitem cea de-a treia coordonată spațială z și să utilizăm în locul ei noua coordonată de timp, ict. Rezultatul este o diagramă prezentată în fig. VI-11, în care axele coordonatelor spațiale x și y se află în planul orizontal (față de cititor) iar axa imaginară a timpului este verticală. Fiecare punct de pe această diagramă reprezintă un *eveniment*, adică ceva ce s-a întîmplat într-un loc bine definit și la un timp bine definit. Evenimentele simultane (în sistemul particular de referință pentru care este desenată

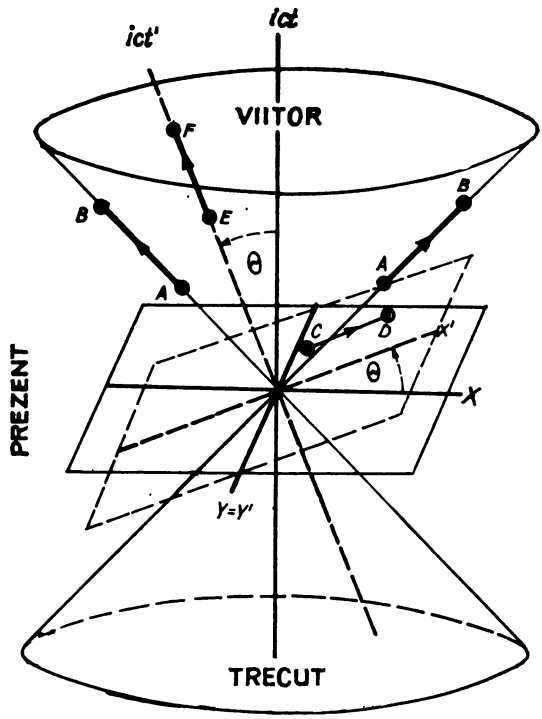


FIG. VI—11 Continuum-ul spaţiu-timp care conţine două coordonate spaţiale *(x* şi *y)* şi o coordonată temporală *(ict)*. Suprafeţele conice care reprezintă propagarea luminii (x^2, $y^2 - c^2t^2 = 0$) împart continuum-ul în „prezent", „trecut" şi „viitor".

diagrama) sînt reprezentate prin puncte în plane perpendiculare pe axa timpului. Evenimentele care au loc la momente de timp diferite, dar în acelaşi loc (de asemenea, în acest sistem particular de referinţă) se găsesc pe liniile drepte, paralele cu axa timpului. Suprafaţa conică, cu o deschidere de 90°, cunoscută sub denumirea de „conul de lumină", corespunde evenimentelor care pot fi legate printr-un semnal luminos. Dacă, de exemplu, punctul (evenimentul) *A* reprezintă o lampă care emite unde luminoase, punctul *B* corespunde iluminării cu o astfel de lumină a unui obiect situat undeva în spaţiu.

Aşa cum s-a discutat şi mai înainte, observaţiile asupra intervalelor de spaţiu şi timp dintr-un sistem care se află în mişcare pot fi interpretate geometric ca rotaţii ale sistemului patrudimensional de coordonate, în care axa timpului e rotită cu un anumit unghi (linia punctată şi literele notate cu prim din fig. VI-11). Deoarece însă viteza de mişcare nu poate niciodată să depăşească viteza c a luminii, unghiul Θ, cu care se roteşte axa ict nu poate fi niciodată mai mare de 90°. Astfel, putem distinge două feluri diferite de evenimente-perechi:

1) Evenimente de tipul E şi F, pentru care linia EF, care le leagă, formează cu axa timpului un unghi *mai mic decît 90°*. În acest caz găsim că sistemul de coordonate se mişcă, faţă de cel iniţial, cu o astfel de viteză, încît ambele evenimente se vor afla pe noua axă a timpului, ict', iar distanţa dintre ele în spaţiu va deveni zero. Aceasta este o rotaţie banală a axelor spaţiu-timp, pe care o întîlnim în viaţa de toate zilele. Dacă, de exemplu, am dori să vedem un joc de fotbal, luni, într-un oraş şi marţi, în alt oraş, situat la cîteva sute de mile depărtare, vom pleca cu automobilul imediat după terminarea primului joc pentru a ajunge înainte de începerea celui de-al doilea joc. Deşi poziţiile celor două stadioane sînt diferite faţă de ecuator şi de meridianul din Greenwich, ambele stadioane vor fi, practic, în acelaşi loc faţă de sistemul de coordonate legat de automobil. Separarea spaţio-temporală a celor două evenimente sportive menţionate mai sus se numeşte separare de tip timp (temporală), deoarece, deplasîndu-ne cu o viteză potrivită, vom reduce la zero separarea spaţială şi le vom observa din acelaşi loc (scaunul maşinii), la momente de timp diferite (interval de o zi).

2) Pentru evenimentele de tipul C şi D, unghiul dintre linia CD şi axa timpului este *mai mare decît 90°*. În acest caz nu putem merge de la primul la celălalt decît dacă ne deplasăm cu o viteză mai mare decît viteza luminii. Astfel, de exemplu, dacă luminii îi trebuie cam 5 h 20 min ca să străbată distanţa dintre planetele Mercur şi Pluton, nu putem să luăm la ora 1 prînzul pe Mercur şi un coctail la ora 5, în aceeaşi zi, pe Pluton. Pe de altă parte, putem oricînd să ne alegem o astfel de viteză de deplasare ca să reducem la zero diferenţa de timp dintre două evenimente şi să le

facem să fie simultane în sistemul de coordonate spațiu-timp ales. Separarea spațio-temporală a unor astfel de evenimente-perechi se spune că este de tipul *spațial*, deoarece printr-o anumită mișcare putem reduce diferența de timp la zero. Acum am putea da o nouă definiție vechilor noțiuni de „trecut, prezent și viitor". Dacă considerăm că ne aflăm în originea sistemului de coordonate arătat în fig. VI-11, și spunem: „mă aflu aici ($x=0$, $y=0$, $z=0$), și acum ($t=0$)", toate evenimentele situate în partea superioară a conului (pentru t pozitiv) vor fi în viitor, deoarece, indiferent cum ne vom mișca, va trece cîtăva vreme pînă cînd le vom vedea. Noi putem influența aceste evenimente viitoare, încercînd să acționăm asupra lor, însă nu putem fi influențați de ele. În mod similar, toate evenimentele situate în partea de jos a conului (t negativ) vor fi în trecut, deoarece, oricît de repede ne-am mișca, nu putem să le vedem. De exemplu, e imposibil să zbori prin spațiu atît de repede încît să ajungi din urmă razele de lumină ale exploziei primei bombe atomice sau arderea Romei. Aceste evenimente trecute ne pot influența, dar noi nu mai putem avea nici o influență asupra lor! Între partea de sus și cea de jos a conului de lumină se află o „țară a nimănui" pe care, de obicei, o numim „prezent". Acesta cuprinde evenimentele, care fie că sînt simultane din punctul nostru de vedere, fie că pot fi făcute simultane, dacă le observăm dintr-un sistem de referință ce se mișcă cu o viteză mai mică decît viteza luminii. Faptul că „prezentul" în fig. VI-11 ocupă un spațiu atît de mare se datorește, desigur, hotărîrii noastre de a folosi ct în loc de t pentru calcularea intervalelor de timp. Dacă reprezentăm t în loc de ct, dimensiunile pe verticală se vor contracta cu un factor 3×10^{10}, părțile superioară și inferioară ale conului de lumină se vor lărgi, iar spațiul dintre ele se va restrînge, practic, la zero. Acesta este lucrul pe care îl observăm în viața de toate zilele, în care vitezele sînt neglijabil de mici în comparație cu viteza luminii.

Să ne întoarcem acum la spațiul tridimensional, și, introducînd coordonata z, să facem cîteva artificii matematice referitoare la „unitatea imaginară" din expresia celei de-a patra coordonate. Să presupunem că trimitem un semnal luminos de la originea coordonatelor $x=0$,

$y=0$, $z=0$ la timpul $t=0$. La timpul t, semnalul luminos atinge o anumită poziţie, coordonatele sale spaţiale fiind x, y şi z, distanţa faţă de origine fiind, conform teoremei lui Pitagora,

$$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}.$$

Deoarece lumina se propagă întotdeauna cu viteza c, distanţa trebuie să fie egală cu ct, şi putem scrie:

$$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = ct$$

sau

$$x^2 + y^2 + z^2 = (ct)^2,$$

sau

$$x^2 + y^2 + z^2 - (ct)^2 = 0.$$

Însă deoarece $-1 = i^2$, putem scrie expresia de mai sus astfel:

$$x^2 + y^2 + z^2 + (ict)^2 = 0.$$

Partea stîngă a acestei expresii este suma pitagoreică a pătratelor pentru spaţiul cu patru dimensiuni. În sistemul prim de coordonate, care se mişcă faţă de sistemul iniţial, avem:

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 + (ict')^2 = 0,$$

astfel încît suma celor patru pătrate nu se schimbă din cauza rotaţiei sistemului de coordonate patrudimensional. Utilizînd transformările Lorentz, se poate arăta că acelaşi lucru este adevărat pentru separarea spaţială şi temporală a oricăror două puncte în spaţiul (x, y, z, ict), care reprezintă două evenimente. Astfel, expresia:

$$x^2 + y^2 + z^2 + (ict)^2$$

este un invariant (o mărime care nu se schimbă), indiferent de sistemul de referinţă din care sînt observate cele două evenimente. Spaţiul lor tridimensional şi separarea lor unidimensională în timp se va schimba, dar separarea lor patrudimensională, dată de expresia de mai sus, rămîne întotdeauna aceeaşi. Astfel, utilizînd ict drept cea de-a patra coordonată, realizăm o unificare matematică a spa-

ţiului şi timpului şi putem considera toate fenomenele fizice ca avînd loc în lumea spaţio-temporală patrudimensională. Să nu uităm totuşi că aceasta s-a realizat numai prin utilizarea „unităţii imaginare", care este un ajutor înşelător, căci atunci cînd dăm cărţile pe faţă, spaţiul şi timpul nu mai sînt exact acelaşi lucru.

TEORIA RELATIVISTĂ A GRAVITAŢIEI

Aşa cum am discutat mai înainte, teoria relativităţii a lui Einstein poate fi considerată ca o strălucită recunoaştere a argumentărilor lui Galilei referitoare la experienţele mecanice efectuate în interiorul cabinei unei corăbii care navighează liniştit. Generalizarea acestei teorii la cazul mişcării neuniforme, care, în mod obişnuit, se numeşte teoria generală a relativităţii — dar mai corect este să se numească teoria relativistă a gravitaţiei — îşi are, de asemenea, rădăcinile în experienţa lui Galilei, în care un corp greu şi unul uşor au fost aruncate din vîrful turnului înclinat din Pisa. Faptul empiric că atît corpurile materiale grele, cît şi cele uşoare cad exact cu aceeaşi acceleraţie a rămas un mare mister, de-a lungul anilor, pînă la publicarea articolului lui Einstein, în 1914, asupra relaţiilor dintre mişcarea accelerată şi forţele de gravitaţie.

În acest articol, Einstein descrie imaginar experienţele care s-ar fi putut efectua în interiorul unei cabine închise ce ar pluti liber în spaţiul interstelar. Din cauza absenţei gravitaţiei toate obiectele din interior nu au nici o tendinţă de mişcare în vreo direcţie. Dacă totuşi cabina este accelerată, să zicem cu ajutorul unui cuplu de motoare de rachetă ataşate la baza ei, situaţia din interior va fi cu totul diferită: toate obiectele vor fi împinse spre podea ca şi cum o forţă gravitaţională le-ar trage în jos. Să considerăm că un om ar sta pe podeaua unui astfel de laborator spaţial care se deplasează cu o acceleraţie uniformă *a* şi ar avea în mîini două sfere, una uşoară şi una grea. Din cauza acceleraţiei întregului sistem, picioarele omului vor fi apăsate puternic de podea, iar cele două sfere vor apăsa asupra palmelor sale. Ce se va întîmpla acum dacă va da drumul ambelor sfere simultan? Fiind separate de corpul rachetei, ambele sfere vor continua să se mişte cu viteza pe care o

aveau în momentul aruncării şi vor rămîne, prin urmare, una lîngă alta. Pe de altă parte, deoarece mişcarea rachetei este accelerată, ea va cîştiga viteză continuu şi nu după mult podeaua cabinei va ajunge în curînd cele două sfere, ciocnindu-se cu ele în acelaşi timp. După această ciocnire, sferele vor rămîne apăsate de podea, fiind accelerate împreună cu restul sistemului. Observatorul din interiorul cabinei va observa însă că cele două sfere cărora le-a dat drumul au început să cadă cu aceeaşi accelerare şi astfel ating podeaua în acelaşi timp. Aceasta este echivalenţa între gravitaţie şi accelerare, care a devenit un lucru binecunoscut în „epoca spaţială" în care trăim.

Dar oare această asemănare dintre fenomenele mecanice, care au loc într-o navă-rachetă accelerată, şi cele din cîmpul gravitaţional produs de masa mare a Pămîntului este o simplă coincidenţă sau trebuie să aibă o legătură mai profundă cu natura forţelor gravitaţionale? Einstein a simţit, desigur, că trebuie să existe o asemenea legătură şi s-a întrebat, cum s-ar comporta, în acest caz, o rază de lumină într-o cabină accelerată. Să ne închipuim că de peretele cabinei este prinsă o lampă care trimite o rază de lumină în cealaltă parte a cabinei. Pentru a observa trecerea razei se pot plasa în calea ei, la distanţe egale, un număr de plăci de sticlă fluorescentă (fig. VI-12). Dacă camera nu este accelerată, punctele în care raza atinge plăcile de sticlă vor fi, desigur, în linie dreaptă, şi va fi imposibil să spunem dacă racheta este în repaus sau într-o stare de mişcare uniformă, să zicem, în raport cu stelele fixe. Totuşi situaţia va fi diferită, dacă cabina se mişcă cu o acceleraţie uniformă a. Timpul necesar luminii ca să atingă prima, a doua, a treia etc. placă de sticlă creşte în progresia aritmetică 1,2,3 etc., în timp ce deplasările rachetei se fac cu o acceleraţie constantă şi vor creşte în progresia geometrică 1, 4, 9 etc. Astfel, urmele razei de lumină pe plăcile de sticlă fluorescentă vor forma o parabolă similară cu traiectoria unei pietre aruncate orizontal. Prin urmare, dacă echivalenţa acceleraţiei şi a gravitaţiei se extinde la fenomenele electromagnetice, razele de lumină trebuie să fie curbate de cîmpul gravitaţional. Însă, din cauza valorii foarte mari a vitezei luminii, curbarea ei în cîmpul gravitaţional al Pămîntului este prea mică pentru a putea

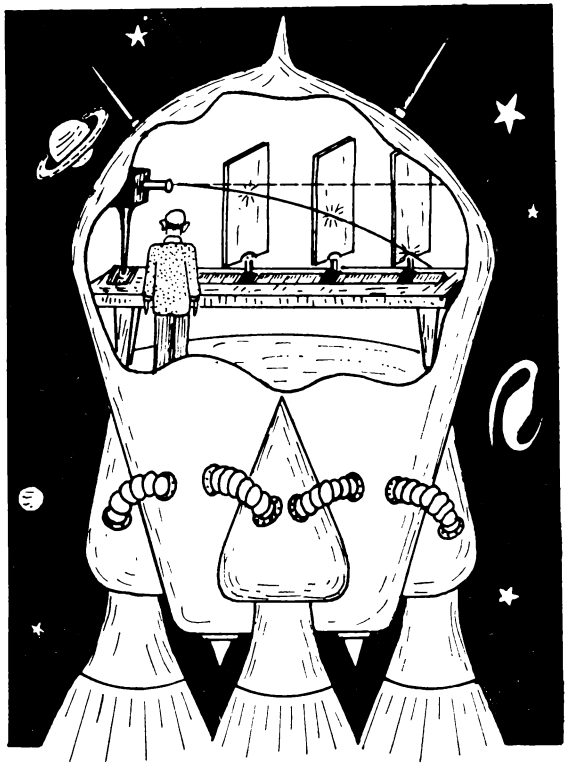


FIG. VI – 12 Experiență optică într-o navă-rachetă accelerată care sugerează că raza de lumină poate fi deviată de cîmpul gravitațional.

fi observată. De fapt, dacă o rază de lumină orizontală străbate, să zicem, 30 m pînă cînd cade pe un ecran, ea va acoperi această distanță în $\frac{3 \times 10^3}{3 \times 10^{10}} = 10^{-7}$ s. Deoarece accelerația gravitației la suprafața Pămîntului este de aproximativ 10^3 cm/s^2, deplasarea verticală a razei de lumină pe ecran se presupune a fi

$$\frac{1}{2} \times 10^3 \times (10^{-7})^2 = 5 \times 10^{-12} \text{ cm},$$

fiind comparabilă cu diametrul nucleului atomic!

Einstein a înțeles însă că ne putem aștepta la o deviere perceptibilă a razelor de lumină, cînd ele trec aproape de suprafața Soarelui. Iată o evaluare aproximativă a devierii așteptate. Accelerația gravitației în apropiere de suprafața Soarelui este produsul dintre constanta gravitațională ($6{,}7 \times 10^{-8}$) și masa Soarelui (2×10^{33}) împărțită la pătratul razei Soarelui (7×10^{10}cm) și va fi:

$$\frac{6{,}7 \times 10^{-8} \times 2 \times 10^{33}}{(7 \times 10^{10})^2} = 3 \times 10^{1} \text{ cm/s}^2.$$

Distanța străbătută în cîmpul gravitațional al Soarelui este comparabilă cu diametrul Soarelui ($1{,}4 \times 10^{11}$), iar timpul necesar luminii pentru a-l străbate este $\frac{1{,}4 \times 10^{11}}{3 \times 10^{10}} = 5$ s. În acest timp raza de lumină va „cădea" cu:

$$\frac{1}{2} \times 3 \times 10^{1} \times 25 = 3{,}7 \times 10^{5} \text{ cm},$$

iar unghiul de deviere va fi:

$$\frac{3{,}7 \times 10^{5}}{7 \times 10^{10}} = 6 \times 10^{-6} \text{ radiani},$$

sau aproximativ 1".

Calcule mai exacte asupra devierii razei de lumină care trece prin imediata apropiere a discului solar au dat valoarea de 1,75". Deoarece stelele din apropierea Soarelui pot fi văzute numai în timpul unei eclipse totale de Soare, în 1919 o expediție astronomică britanică a plecat în Africa, unde trebuia să aibă loc o astfel de eclipsă. (Astronomii germani nu au putut merge din cauza blocadei de război.) Rezultatele au confirmat întru totul prezicerile lui Einstein. Cînd a auzit despre aceste rezultate, Einstein a zîmbit doar și a spus că ar fi fost foarte surprins dacă rezultatele ar fi fost negative. Acestea, ca și alte confirmări ale teoriei, au dovedit, fără nici un dubiu, că există o corelație între fenomenele care au loc în cîmpuri gravitaționale și în sisteme accelerate.

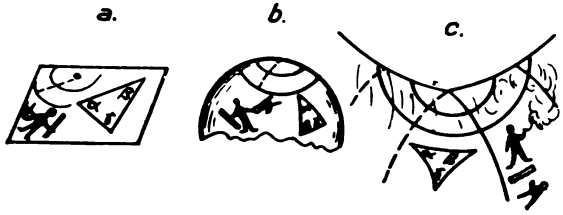


FIG. VI—13 Trei tipuri diferite de suprafeţe (bidimensionale) curbe: *a* — suprafaţă plană: curbură zero; *b* — suprafaţă sferică: curbură pozitivă; *c* — suprafaţă în formă de şa: curbură negativă. Diferenţa dintre cele trei cazuri poate fi descoperită de geometri bidimensionali inteligenţi dacă studiază geometria cercului sau a triunghiului.

GRAVITAŢIA ŞI CURBURA SPAŢIULUI

Fiecare ştie ce se înţelege printr-o linie curbă sau o suprafaţă curbă, însă trebuie destulă imaginaţie pentru a înţelege sensul unui spaţiu tridimensional curb. Dificultatea formării unei idei generale asupra spaţiului curb este aceea că, în timp ce putem privi o suprafaţă dinafară şi vedem dacă este plană sau curbă, noi ne aflăm în interiorul spaţiului şi nu putem ieşi din el ca să-l privim. Cea mai bună cale de a discuta proprietăţile spaţiului curb este să utilizăm o analogie între două fiinţe imaginare bidimensionale care trăiesc pe o suprafaţă, dar care nu ştiu că există o direcţie perpendiculară pe suprafaţa lor. Cum îşi vor da seama ele că suprafaţa pe care trăiesc este un plan, o sferă sau altceva fără ca să iasă afară din suprafaţa respectivă? Răspunsul este, firește, că ele ar trebui să studieze geometria suprafeţei lor, desenînd diferite figuri, măsurînd unghiuri etc. În fig. VI-13 dăm un exemplu de astfel de geometri bidimensionali, care studiază un triunghi desenat pe un plan, pe o sferă şi pe o aşa-numită „suprafaţă în formă de şa".

Dacă este o suprafaţă plană (*a*), atunci se aplică regulile geometriei euclidiene plane, şi suma celor trei unghiuri ale unui triunghi va fi întotdeauna egală cu 180°. Pe o suprafaţă sferică (*b*), suma celor trei unghiuri ale unui triunghi va fi întotdeauna mai mare decît 180°, după cum se poate vedea uşor desenînd pe un glob un triunghi format din două

jumătăţi de meridian şi secţiunea de ecuator cuprinsă între ele. Deoarece meridianele intersectează ecuatorul sub un unghi drept, suma celor două unghiuri de la baza triunghiului sferic este 180°. La aceasta mai trebuie să adăugăm unghiul de la pol, care poate, de asemenea, să fie destul de mare. Pentru triunghiuri sferice mai mici suma celor trei unghiuri va fi mai aproape de 180°, însă diferenţa dispare numai cînd triunghiul este infinit mai mic decît sfera pe care e desenat. Pe o suprafaţă în formă de şa (*c*) situaţia e diferită, iar suma celor trei unghiuri ale unui triunghi este mai mică decît 180°. În mod obişnuit, suprafeţei sferice i se atribuie o curbură pozitivă, iar suprafeţei în formă de şa, o curbură negativă.

Putem să extindem aceste concluzii în cazul suprafeţei tridimensionale şi să spunem că spaţiul este neted sau posedă o curbură pozitivă sau negativă, depinzînd de faptul că suma unghiurilor triunghiurilor trasate între oricare trei puncte din acest spaţiu este egală, mai mare sau mai mică decît 180°. Să considerăm o experienţă de triangulaţie la scară mare, în care trei astronomi echipaţi cu teodolite se plasează, respectiv, pe Pămînt, pe Venus şi pe Marte, pentru a măsura cele trei unghiuri ale triunghiului *PVM*. Deoarece, aşa cum am arătat în capitolul anterior, razele de lumină sînt deviate de cîmpul gravitaţional al Soarelui (fiind curbat către corpul gravific) cele trei raze care formează acest triunghi vor arăta ca în fig. VI-14, iar suma celor trei unghiuri va fi găsită, de astronomi, mai mare decît 180°. Astfel, astronomii noştri vor ajunge la concluzia că spaţiul din jurul Soarelui este curbat, avînd o curbură pozitivă. Dacă se repetă măsurătorile utilizînd planetele Jupiter, Saturn şi Uranus, care sînt mai depărtate de Soare, devierea razelor de lumină de către gravitaţia Soarelui va fi mai mică şi suma celor trei unghiuri va fi mai aproape de 180°, indicînd că curbura spaţiului din jurul Soarelui scade cu creşterea distanţei. S-ar putea obiecta asupra interpretării date mai sus unei astfel de măsurători, spunînd că ceeea ce au măsurat astronomii nu este de fapt un triunghi adevărat, deoarece laturile sale nu sînt linii drepte. Dar, ce *este* o linie dreaptă? Singura ei definiţie rezonabilă este: „linia de vedere", însă linia de vedere *este* linia după care se propagă lumina în vid! Am mai putea defini

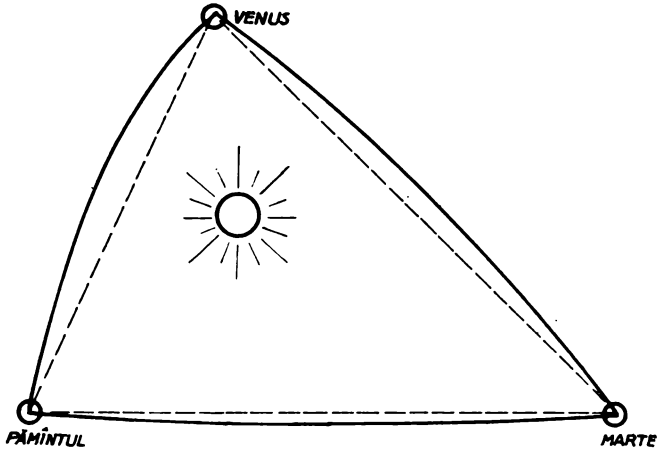


FIG. VI—14 Triangularea spaţiului în jurul Soarelui.

linia dreaptă ca „cea mai scurtă distanţă între două puncte", însă toată optica este bazată pe postulatul că lumina urmează întotdeauna drumul cel mai scurt între două puncte. Dacă ne gîndim serios la această situaţie, constatăm că nu avem altă cale raţională de a defini linia dreaptă, că liniile pline din fig. VI-14 trebuie să fie considerate linii „drepte" în spaţiul „curb" şi că liniile punctate de pe figură nu au nici un sens fizic. Pentru a evita confuzia în terminologie, termenul „linie dreaptă" este rezervat numai pentru distanţele cele mai scurte din geometria plană, în timp ce pe o suprafaţă curbă şi într-un spaţiu curb vorbim despre „linii geodezice". Astfel, pe suprafaţa unei sfere, echivalentele liniilor drepte sînt arcele cercurilor mari pe care noi le utilizăm ca să construim triunghiuri sferice. Trebuie să notăm aici că, în geometria sferică, vechea afirmaţie a geometriei euclidiene după care „liniile paralele nu se întîlnesc niciodată" nu mai este adevărată, deoarece oricare două cercuri mari se întretaie întotdeauna în două puncte, iar două avioane, plecînd din două puncte de pe ecuator, în direcţii paralele, perpendiculare pe ecuator, şi zburînd fără să-şi schimbe direcţia, se vor ciocni cînd vor ajunge la pol.

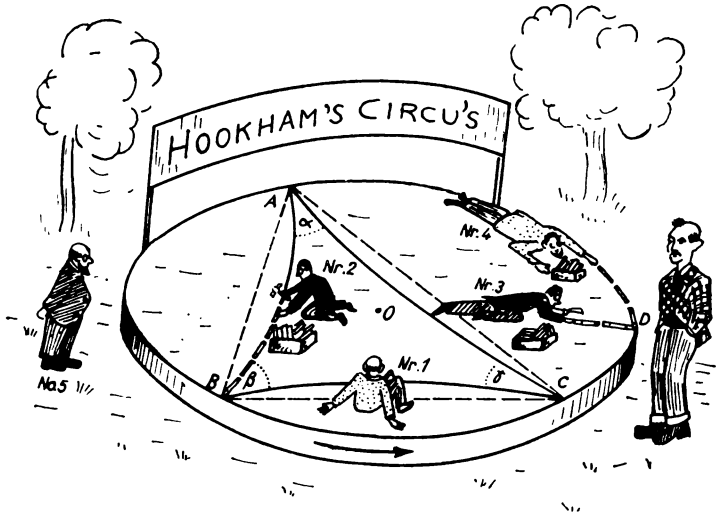


FIG. VI—15 Studii geometrice pe o platformă rotitoare.

Echivalenţa dintre cîmpul gravitaţional şi curbura spaţiului poate fi lămurită şi mai departe, utilizînd exemplul bidimensional. Dacă rostogolim o bilă de biliard pe o masă orizontală dreaptă, ea se va mişca, desigur, de-a lungul unei linii drepte convenţionale. Dar dacă, din anumite motive, masa prezintă o adîncitură superficială şi ridicături în drumul bilei, aceasta va fi deviată de la drumul ei „drept", întorcîndu-se către centrul adînciturii şi îndepărtîndu-se de vîrful ridicăturii. Dacă observăm mişcarea bilei, de deasupra mesei (să zicem printr-o gaură în tavan), nu vom observa defectele suprafeţei mesei şi vom fi înclinaţi să credem că există o anumită forţă care atrage sau respinge bila în anumite puncte de pe suprafaţa mesei. La fel, devierea razelor de lumină şi a corpurilor materiale în mişcare în apropierea suprafeţei solare poate fi interpretată fie ca o forţă care acţionează asupra lor, fie ca un rezultat al curburii spaţiului în vecinătatea maselor mari.

Să analizăm acum problema noastră din alt unghi şi să considerăm fenomenele fizice aşa cum le văd nişte observatori aflaţi pe o mare platformă care se roteşte (fig. VI—15).

Acest experiment imaginar este similar cazului cutiei lui Einstein, discutat în paragraful anterior, cu diferența însă că, în locul accelerației liniare (de exemplu, a schimbării valorii numerice a vitezei fără schimbarea direcției), aici avem o accelerație circulară (schimbarea direcției vitezei fără a se schimba valoarea ei numerică).

Acestei platforme rotitoare i-am putea adăuga o cupolă emisferică care să se rotească împreună cu ea și care să nu permită oamenilor din interior să observe copacii și casele din jur cînd se învîrtește. După cum știe oricine, oamenii de pe o platformă rotitoare vor constata existența unei forțe centrifuge care îi împinge către periferie, putînd să o interpreteze ca pe o forță de gravitație specială, care este mai degrabă repulsivă decît atractivă. Analogia cu gravitația va fi întărită de faptul că, dacă unul dintre acești oameni, bine fixat pe platformă, pune pe aceasta două sfere, una grea și alta ușoară, sferele se vor rostogoli una lîngă alta foarte mult în același fel, ca două obiecte care cad dintr-un turn. Deoarece oamenii de pe platformă sînt fizicieni cu experiență și cunosc toate argumentele prezentate anterior în acest capitol, ei pot corela acest „cîmp pseudogravitațional" cu geometria spațiului și pot efectua niște măsurători geometrice. Mai întîi, ei pot încerca să construiască un triunghi cu vîrfurile A, B și C și să măsoare suma unghiurilor sale. Folosind definiția liniei drepte ca distanța cea mai scurtă între două puncte, fizicianul nr. 2 (fizicianul nr. 1 este doar marele șef și supraveghează munca) ia o cutie cu bețe de lemn, toate de aceeași lungime standard, și încearcă să le fixeze în cuie pe linia dintre punctele A și B, astfel ca să folosească un număr cît mai mic. Dacă platforma nu s-ar roti, cel mai bun mod de a o face ar fi linia întreruptă arătată în figură. Dar, în cazul rotației, situația se schimbă. Bețele de lemn se mișcă acum în direcția lungimii lor și sînt supuse contracției Fitzgerald; de fapt, fizicianul nr.5, stînd pe pămînt, va fi sigur că ele se mișcă. Bățul din mijloc se mișcă exact pe direcția lungimii lui și suportă contracția Fitzgerald în cea mai mare măsură, în timp ce bețele situate mai aproape de periferie au cel puțin o componentă a vitezei în lungul lungimii lor. Din cauza contracției vor apărea spații între bețe și fizicianul nr. 2 va trebui să mai adauge bețe pentru a face ca linia să fie continuă. Dar mai există

cel puţin încă un remediu parţial pentru acest neajuns: dacă beţele se mişcă mai aproape de centrul platformei, viteza lor liniară şi de asemenea contracţia lor vor fi mai reduse, deci vor fi necesare mai puţine beţe suplimentare. Astfel, fizicianul nr. 2 va plasa beţele sale aşa cum se arată în desen şi va fi forţat să facă acelaşi lucru şi pentru celelalte două laturi ale triunghiului. Suma unghiurilor triunghiului va fi acum mai mică decît 180° şi fizicienii de pe platformă vor trage concluzia că spaţiul lor are o curbură negativă.

Am mai putea adăuga faptul că dacă aceşti fizicieni s-ar decide să verifice, prin metode optice, rezultatele descrise mai sus, ei ar ajunge la acelaşi rezultat. Desigur, deoarece cîmpul forţelor centrifugale este, în toate privinţele, similar unui cîmp gravitaţional repulsiv, razele de lumină care unesc punctele *A*, *B* şi *C* vor fi deviate în afară faţă de centrul platformei şi vor urma drumul marcat prin beţele de lemn. Pe platformă se mai află acum fizicienii nr. 3 şi nr. 4, care fac cu totul altceva. Ei încearcă să măsoare raportul dintre circumferinţă şi diametru, care în geometria plană se notează cu litera grecească π. Aici, rotaţia platformei va produce, de asemenea, un neajuns: în timp ce nr. 3 nu va avea probleme, deoarece beţele folosite de el se mişcă perpendicular pe lungimea lor, devenind astfel mai subţiri fără ca să-şi modifice lungimea, beţele utilizate de nr. 4 vor fi supuse unei contracţii Fitzgerald maxime şi de aceea va trebui să folosească un număr mai mare de beţe. În felul acesta, raportul dintre circumferinţă şi diametru, măsurate pe platformă, va fi mai mare decît valoarea 3,1416... utilizată în geometria plană. Rezultatul confirmă din nou concluzia referitoare la curbura negativă a spaţiului.

Să ne întoarcem pentru puţin la suprafeţele curbe bidimensionale şi să vedem ce se întîmplă dacă trasăm pe ele nişte cercuri. Pe glob se ştie că cercurile care au ca centru polul se numesc „paralele" şi, pare evident, că raportul dintre lungimea unei paralele şi diametrul cercului ei (măsurat de-a lungul unui meridian) este mai mic decît numărul π. De fapt, lungimea ecuatorului (paralela 0) împărţită la lungimea meridianului este doar 2. Lungimea paralelelor creşte mai încet decît raza lor, măsurată de-a lungul meridianului, şi pentru paralelele a 80-a, a 70-a, a 60-a (cu razele de 10, 20, 30° etc.) lungimile cresc mai încet decît

1, 2, 3 etc. În mod similar, aria suprafeţelor din interiorul acestor paralele creşte mai încet decît 1, 4, 9 etc. Pe suprafaţa în formă de şa se întîlneşte situaţia opusă, în care lungimea cercurilor creşte *mai repede* decît raza lor, iar ariile, mai repede decît pătratul razelor lor. Dacă tăiem o bucată circulară de piele dintr-o minge de fotbal şi o punem pe masă, ea se va ridica spre mijloc şi va trebui s-o întindem de margini dacă vrem s-o facem plană. Din contra, o bucată de piele tăiată dintr-o şa de *cowboy* va avea prea multă piele la margini şi va trebui comprimată pentru a o face plană. Şi cu ajutorul acestei analogii, trebuie să atribuim o curbură negativă spaţiului dintr-un laborator care se roteşte.

În cazul spaţiului tridimensional, suprafaţa sferei creşte mai încet decît r^2, iar volumul mai încet decît r^3 în cazul unei curburi pozitive, contrariul fiind valabil pentru spaţiul cu curbură negativă. Acest rezultat matematic constituie o bază pentru o foarte interesantă lucrare din domeniul astronomiei, efectuată cu mulţi ani în urmă de către Edwin Hubble, de la Observatorul de pe muntele Wilson (California). Hubble fiind un mare expert în galaxii stelare, din care miliarde sînt împrăştiate prin tot universul la distanţe ce pot fi observate cu marile telescoape, s-a hotărît să cerceteze dacă numărul galaxiilor aflate la diferite distanţe de noi creşte în proporţie directă, mai încet sau mai repede, decît cuburile acestor distanţe. Dacă prima posibilitate este adevărată, trebuie să tragem concluzia că spaţiul universului este euclidian. În cel de al doilea caz, spaţiul are o curbură pozitivă şi foarte probabil că este închis. În cel de-al treilea caz, spaţiul are o curbură negativă, fiind larg deschis în toate direcţiile. Din nefericire, tehnica de observare pentru măsurarea distanţelor intergalactice nu era destul de dezvoltată în acea vreme, iar rezultatele lui Hubble sînt contradictorii şi neconcludente. Sperăm că repetarea „numărătorilor galactice" ale lui Hubble cu mijloace de observare mai bune va da un răspuns acestei importante probleme de cosmologie.

Pe baza consideraţiilor descrise mai sus, Einstein a dezvoltat o teorie conform căreia interacţiunile gravitaţionale ar trebui să fie interpretate ca datorate curburii spaţiului. Din fericire pentru Einstein, o teorie matematică detaliată a spaţiilor curbe cu orice număr de dimensiuni a fost dezvol-

tată, cu multe decade mai înainte, de către matematicianul german Bernhard Riemann, astfel încît tot ce a mai avut de făcut Einstein a fost să aplice formulele matematice existente, spațiului fizic real curb. Desigur că acesta era un spațiu patrudimensional, cu coordonatele x, y, z și ict, discutate mai înainte în acest capitol. Corelînd așa-numitul „tensor de curbură" al continuum-ului spațiu-timp, cu distribuțiile și mișcările maselor (această formulă de bază este dată sub portretul lui Einstein în fig. VI—6), Einstein a reușit să obțină toate rezultatele teoriei gravitației a lui Newton, ca prime aproximații. Totuși calcule mult mai exacte arată că trebuie să existe unele mici abateri de la teoria gravitației, inițială, a lui Newton, și descoperirea acestor abateri ar putea să dovedească superioritatea punctului de vedere al lui Einstein asupra celui al lui Newton. Una dintre concluziile teoriei gravitației a lui Einstein, devierea traiectoriei luminii în cîmpul gravitațional, a fost discutată aici mai înainte. Un alt punct important se referă la mișcarea planetelor în jurul Soarelui. Newton a arătat că, după legea gravitației descoperită de el, planetele trebuie să se miște pe orbite eliptice în jurul Soarelui, conform legilor empirice descoperite de Kepler. În teoria lui Einstein, toate mișcările trebuie considerate în lumea patrudimensională (x, y, z, ict), care este curbată dacă sînt prezente cîmpuri gravitaționale. Liniile care reprezintă „istoria mișcării" oricărui corp material în lumea patrudimensională, cunoscute sub numele de „linii de univers" ale acestui corp, trebuie să fie „geodezice", adică cele mai scurte linii, și pot fi calculate, pe baza teoriei relativiste a cîmpului gravitațional.

În fig. VI—16 se dă o reprezentare grafică a liniei de univers a Pămîntului în mișcarea sa în jurul Soarelui. Cele două coordonate spațiale x și y se iau în planul eclipticii în timp ce a treia este coordonata de timp ict. Continuum-ul spațiu-timp din vecinătatea Soarelui e curbat și linia de univers a Pămîntului corespunde celei mai drepte linii (adică geodezicei) în acest spațiu curb. Astfel, linia $ABCD$ este cea mai scurtă distanță între punctele (evenimentele) A și D în continuum-ul spațiu-timp tridimensional, iar proiecția sa pe planul (x, y) este orbita Pămîntului în jurul

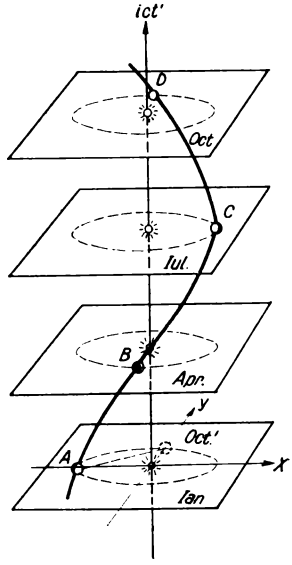


FIG. VI—16 Linia de univers a Pămîntului în mişcarea sa în jurul Soarelui reprezentată în sistemul de coordonate x, y, ict. Distanţa în spaţiu-timp între poziţia Pămîntului din ianuarie şi din octombrie este cea mai scurtă. Însă distanţa dintre poziţia din ianuarie şi *proiecţia* poziţiei din octombrie pe planul lui ianuarie *(oct'.)* nu e, desigur, cea mai scurtă.

Soarelui. Calculele exacte au arătat însă că această elipsă nu rămîne staţionară în spaţiu, aşa cum indica teoria lui Newton, ci se roteşte uşor cu axa sa mare, care se înclină cu un mic unghi în cursul fiecărei revoluţii. Efectul trebuie să fie observabil în cazul orbitei lui Mercur, care este mai alungită decît orbitele altor planete, fiind şi cea mai aproape de Soare. Einstein a calculat că orbita lui Mercur ar trebui să se rotească cu 43'' pe secol şi astfel a rezolvat vechea enigmă a mecanicii cereşti. Cu mult înainte ca Einstein să se fi născut, astronomii matematicieni au calculat că axa mare a orbitei lui Mercur trebuie să se rotească uşor din cauza perturbaţiilor, adică a unor tulburări gravitaţionale, cauzate de celelalte planete ale sistemului solar. Rămînea însă o discrepanţă între calcule şi observaţii, care se ridica la 43''

pe secol ce nu puteau fi explicate. Teoria relativistă a lui Einstein a acoperit acest gol, devenind învingătoare indiscutabilă asupra vechii teorii newtoniene.

TEORIA UNIFICATĂ A CÎMPULUI

Contribuţia cea mai de seamă a lui Albert Einstein a constat în geometrizarea unei mari părţi a fizicii: timpul a devenit al patrulea tovarăş legitim al celor trei coordonate spaţiale (cu excepţia factorului *i*), iar forţele gravitaţionale au fost interpretate ca fiind datorate curburii acestui univers patrudimensional. Însă forţele electrice şi magnetice rămîneau încă în afara acestei cuceriri geometrice, şi, mergînd mai departe, Einstein şi-a concentrat toată energia ca să-i pună îndărătnicului cîmp electromagnetic un sever căpăstru geometric. Care ar fi această proprietate geometrică a spaţiului patrudimensional încă neexplorată, care să poată explica interacţiunile electrice şi magnetice? Însuşi Einstein şi mulţi alţi „martori oculari interesaţi", de exemplu, celebrul matematician german Herman Weyl, au făcut tot ce le-a stat în putinţă pentru a da cîmpului electromagnetic o interpretare pur geometrică. Însă, cu o încăpăţînare tipic scoţiană, copilul lui William Clerk Maxwell, cîmpul electromagnetic, a refuzat să fie geometrizat. Timp de aproape patru decade, pînă la moartea sa, care a survenit în 1955, Einstein a lucrat la aşa-numita „teorie unificată a cîmpului", adică la teoria care ar unifica cîmpurile gravitaţional şi electromagnetic pe o bază geometrică simplă. Însă cu trecerea anilor, lucrul acesta a devenit din ce în ce mai fără de speranţă. De nenumărate ori, Einstein venea cu noi seturi de formule, care, pretindea el, ar fi fost destinate să rezolve enigma teoriei unificate a cîmpului, iar aceste expresii tensoriale complicate erau tipărite pe prima pagină a ziarului „New York Times" şi în alte jurnale din toată lumea. Însă formulele se dovedeau întotdeauna inadecvate scopului, şi tăcerea se aşternea iarăşi pînă la o nouă revelaţie. Fizicienii teoreticieni, bătrîni sau tineri, încet, încet şi-au pierdut încrederea în posibilitatea de a atribui cîmpului electromagnetic o interpretare pur geometrică. Ar fi fost frumos dacă s-ar fi putut realiza, dar natura nu poate fi forţată să facă ceea ce nu-i stă în fire. Pe de altă

parte, fizica a făcut progrese rapide în domeniile noi descoperite şi, pe lîngă cîmpurile clasice gravitaţionale şi electromagnetice, cîmpurile noi, introduse de mecanica ondulatorie, au ocupat o poziţie fermă în ştiinţă. Dacă se dă o interpretare pur geometrică cîmpului electromagnetic, ar trebui să stăpînim cîmpurile mezonice, cîmpurile hiperonice şi multe alte noi cîmpuri, ca să putem spune: fizica nu e nimic altceva decît geometrie. Einstein însuşi a devenit din ce în ce mai susceptibil în legătură cu această teză a lui, şi din ce în ce mai puţin dispus să discute aceste probleme cu alţi fizicieni. În timpul uneia dintre vizitele pe care le-a făcut în Anglia la începutul anilor treizeci, el a ţinut o conferinţă despre teoria unificată a cîmpului la o şcoală de fete din nordul Angliei (tabla cu formulele tensoriale complicate a fost păstrată de conducerea şcolii), însă a refuzat să vorbească la Universitatea din Cambridge. Atenţia sa era din ce în ce mai preocupată de problemele păcii mondiale, dar capacitatea sa ştiinţifică a rămas tot atît de vie cum a fost întotdeauna. Cînd autorul acestei cărţi, profitînd de ocazie, l-a vizitat pe Einstein în anii celui de-al doilea război mondial, în casa lui liniştită de la Princeton, el a găsit acelaşi om încîntător de demult şi îşi aminteşte multe conversaţii interesante şi instructive din diferitele domenii ale fizicii moderne. Existau multe hîrtii împrăştiate pe masa de lucru a lui Einstein, acoperite cu complicate formule tensoriale, aparent referitoare la teoria unificată a cîmpului. Dar despre acestea Einstein nu vorbea niciodată.

VII

Legea cuantelor

DIVIZIBILITATEA MATERIEI

După cum ştie oricine, *atomul* (care înseamnă „indivizibil" în limba greacă) este un produs al minţii lui Democrit, care a trăit şi a predat în Atena acum 23 de secole. El considera ca de neconceput faptul că divizarea corpurilor materiale în părţi din ce în ce mai mici ar putea să se facă nelimitat şi a postulat că trebuie să existe nişte particule, ultime, atît de mici, încît divizarea lor mai departe, în părţi şi mai mici, nu mai este posibilă. Democrit considera că există patru tipuri diferite de atomi — ai pietrei, ai apei, ai aerului şi ai focului — şi credea că toată diversitatea de materiale cunoscute rezultă din combinaţii diferite ale acestor patru elemente. Concepţiile sale, adoptate şi solid fundamentate experimental la începutul secolului al XIX-lea, de către chimistul englez John Dalton, formează baza întregii chimii moderne, chiar dacă astăzi ştim că atomii nu sînt de loc indivizibili şi că au de fapt o structură internă cam complicată. Însă ideea lui Democrit a unei ultime elementarităţi este transferată acum la particulele mult mai mici, care constituie structura internă a atomilor, şi se poate spera că electronii, protonii şi alte aşanumite „particule elementare" sînt real şi într-adevăr elementare şi indivizibile în sensul bun şi vechi al cuvîntului lui Democrit. S-ar putea însă ca aceasta să fie numai o simplă impresie provenită din faptul că dispunem de o relativ slabă cunoaştere a acelor particule descoperite de puţină vreme şi că facem, şi noi, aceeaşi greşeală ca şi fizicienii şi chimiştii din secolul al XIX-lea, care credeau

că divizibilitatea materiei se opreşte la atomi. Şi s-ar putea foarte bine întîmpla — dacă se va constata în viitor că particulele elementare de azi au o structură complexă, cu nume noi inventate pentru părţile lor constitutive — ca să nu se fi ajuns la capăt, şi peste alţi cîţiva ani se va face încă un pas către particule şi mai mici. Nu există nici un mijloc de a prezice dezvoltările ştiinţei în viitor, iar problema dacă conceptul filozofic iniţial al lui Democrit asupra indivizibilităţii era corect sau fals nu va fi rezolvată niciodată cu mijloace empirice. Dar oarecum, mulţi oameni de ştiinţă, printre care şi autorul, sînt fericiţi să creadă că în cercetarea materiei „lucrurile vor ajunge la un sfîrşit" şi că fizicienii viitorului vor cunoaşte aproape tot ce e de cunoscut despre structura internă a materiei. Şi de asemenea pare destul de plauzibil ca particulele elementare ale fizicii moderne să justifice numele lor în întregime, deoarece proprietăţile şi comportarea lor par a fi mult mai simple decît s-ar putea spune vreodată despre atomi.

O AŞCHIE SARE DIN VECHIUL ATOM

Către sfîrşitul secolului al XIX-lea, fizicienii şi-au îndreptat atenţia către studiul trecerii electricităţii prin gaze. Se ştia, de secole, că gazele, care în mod obişnuit sînt destul de bune izolatoare electrice, cîteodată pot fi făcute conductoare sub acţiunea unor tensiuni electrice înalte. Domeniul intensităţii descărcărilor se întinde de la micile scîntei, care pot să apară între clanţa uşii şi mîna unui om care merge pe un covor în pantofi de cauciuc, şi pînă la puternicele fulgere din timpul furtunilor. Însă Sir William Crookes, ale cărui contribuţii la dezvoltarea ştiinţei sînt numai în parte umbrite de credinţele sale în spiritism şi în forţele supranaturale, a arătat că trecerea electricităţii prin gaze are loc într-un mod mult mai paşnic, dacă presiunea gazului e redusă la o mică fracţiune de atmosferă. Tuburile Crookes răspîndesc o lumină liniştită a cărei culoare depinde de natura gazului, şi mai strălucesc şi azi pe străzile oraşelor, dar ca reclame de hoteluri, localuri de noapte şi pentru mii de alte lucruri. Cînd presiunea gazului din tub, la care se aplică tensiunea înaltă, este destul de mică, atunci apare

un fascicul bine definit, care trece repede de la catod la anod, iar dacă vreun fizician poznaş mută anodul din calea fasciculului, acesta va lovi celălalt capăt al tubului. Lovind peretele de sticlă, fasciculul misterios emanat de catod îl va face să lumineze cu o lumină verde difuză, iar orice obiect plasat în calea lui va arunca umbre bine definite. Plasînd în apropierea tubului un magnet, Crookes a observat că abaterea fasciculului este la fel ca în cazul unui curent electric sau al unui roi de particule încărcate negativ care zboară de pe catod. Cam în acelaş timp, în Franţa, Jean Perrin a descoperit că o placă de metal pusă în calea acelui fascicul se încarcă cu electricitate negativă. Toate acestea păreau să indice faptul că aici trebuie să fie vorba de particule încărcate negativ care zboară prin gazul rarefiat, la fel cum se mişcau ionii lui Faraday prin lichide în procesul de electroliză. Diferenţa esenţială era, desigur, că în timp ce ionii trebuiau să-şi croiască drum printre moleculele destul de înghesuite ale lichidului, şi nu trebuiau să-şi greşească calea către electrodul opus, *radiaţiile catodice* (aşa cum erau ele denumite) din gazele rarefiate zburau în linie dreaptă şi loveau tot ce le stătea în cale.

Aceste puncte de vedere au fost contrazise de fizicianul german Philipp Lenard, care a găsit că radiaţiile catodice pot să treacă destul de uşor prin diferite ecrane plasate în drumul lor fără a le perfora, cum ar fi făcut, desigur, orice alte particule materiale. Numai radiaţiile, şi nu corpurile materiale, pot face aşa ceva, a spus Lenard. Desigur azi, cînd ştim de ce în jurul reactoarelor nucleare trebuie să se construiască pereţi de beton groşi de cîteva picioare pentru a opri ieşirea neutronilor şi contaminarea personalului centralelor atomice, ne dăm seama că argumentele lui Lenard sînt destul de slabe. Însă în acea vreme, ele constituiau un argument foarte puternic.

Sarcina rezolvării contradicţiilor experimentale care să dovedească dacă radiaţiile catodice *sînt* curenţi de particule şi să găsească caracteristicile fizice ale acestor particule a fost trasată, de către Consiliul superior al progresului ştiinţei, lui Joseph John Thomson, Sir Joseph de mai tîrziu (fig. VII-1, *dreapta*), un fizician născut la Manchester, care avea în acel timp 40 de ani şi era directorul renumitului Laborator Cavendish din Cambridge, unul dintre centrele

FIG. VII–1 Lord Rutherford *(stînga)* şi Sir J.J. Thomson.

importante ale fizicii contemporane. Presupunînd că radiaţiile catodice sînt formate din particule rapide, Thomson s-a hotărît să le măsoare masa şi sarcina. Informaţii referitoare la valorile acestor mărimi puteau fi obţinute prin devierea radiaţiilor catodice în cîmp magnetic (fig. VII-2*b*). Această deviere depinde nu numai de sarcina şi de masa particulelor care zburau, ci şi de viteza lor şi măsurînd-o se putea obţine mărimea produsului $\frac{masa \times viteza}{sarcina}$ sau $\frac{mv}{e}$ în notaţii uzuale. Din teorie rezultă însă că deviaţia provocată de cîmpul electric (fig. VII-2*a*) depinde de cealaltă combinaţie a aceloraşi mărimi, anume de produsul $\frac{mv^2}{e}$. Astfel, măsurînd ambele deviaţii şi combinînd rezultatele, Thomson a putut să determine separat viteza v şi raportul sarcină-masă, $\frac{e}{m}$. Însă în vreme ce viteza v depindea de potenţialul electric aplicat tubului, raportul $\frac{e}{m}$ era întotdeauna acelaşi, fiind egal cu $5{,}28 \times 10^{17} \frac{u.e.s.*}{g}$.

* u.e.s. este unitatea electrostatică descrisă în capitolul V; g este unitatea de masă.

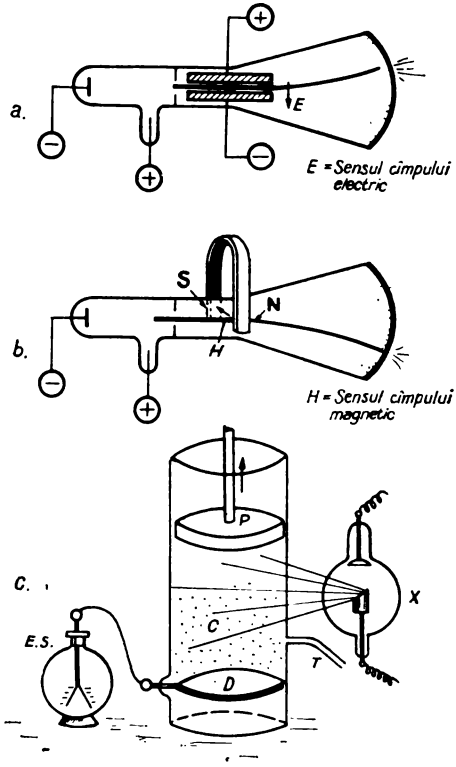


FIG. VII–2 Măsurătorile lui Sir J.J. Thomson asupra masei electronului: *a* — devierea în cîmpul electric permite măsurarea lui $\frac{m}{e} \cdot v^2$; *b* — devierea în cîmpul magnetic permite măsurarea lui $\frac{m}{e} \cdot v$. Combinînd cele două rezultate se găseşte $\frac{m}{e}$; *c* — viteza de cădere a picăturilor formate într-un gaz ionizat permite determinarea lui *e*. Cunoscînd $\frac{e}{m}$ şi *e* se poate găsi uşor *m*.

Deşi era aproape sigur că *e* trebuie să aibă aceeaşi valoare numerică ca şi sarcina elementară găsită de Faraday în experienţele sale de electroliză a lichidelor, Thomson a efectuat o experienţă specială pentru a măsura această va-

loare pentru ionii gazului. Metoda sa se baza pe descoperirea unui alt fizician de la Laboratorul Cavendish, C.T.R. Wilson (O stea strălucitoare este C.T.R.! spune un cîntec vechi din Cambridge), care a găsit că dacă aerul lipsit de praf, saturat cu vapori de apă, este răcit brusc prin detentă, se formează mici picături de apă pe orice ion care ar putea fi prezent acolo*. Pentru detente mici (sub 30%) numai ionii negativi servesc ca centri de condensare, în timp ce pentru detente mai mari, vaporii de apă se condensează atît în jurul ionilor pozitivi, cît şi în jurul celor negativi. Schema experienţei lui Thomson este arătată în fig. VII-2*c*. Ea constă dintr-un cilindru de sticlă *C*, cu un piston P, şi un disc metalic *D*, legat de un electroscop *E.S.* Cilindrul este umplut cu aer umed prin tubul *T* şi „luminat" cu radiaţii X. Cînd pistonul este tras brusc în sus, producînd detenta aerului (mai mică decît 30%), în cameră se formează un nor de ceaţă prin condensarea vaporilor de apă pe ionii negativi care apar. Ceaţa se depune uşor pe discul *D*, şi sarcina electrică totală a ionilor formaţi se măsoară cu ajutorul electroscopului. Cunoscînd cantitatea iniţială de vapori de apă din cilindru şi dimensiunea medie a picăturilor de ceaţă, se poate găsi numărul total de picături produs sau, ceea ce e acelaşi lucru, numărul total de ioni. Deoarece picăturile erau prea mici pentru a fi văzute, Thomson s-a hotărît să le determine mărimea din viteza cu care se depune ceaţa pe disc. Cu cît picătura este mai mică, cu atît ea se depune mai încet şi există o formulă, dedusă pentru prima dată de Stokes, care dă relaţia dintre viteza de cădere, raza picăturii şi viscozitatea aerului. Utilizînd această metodă şi împărţind sarcina totală primită de electroscop la numărul de picături, Thomson a găsit că sarcina electrică a fiecărei picături are valoarea $4{,}77 \times 10^{-10}$ u.e.s., adică aceeaşi valoare ca şi în cazul electrolizei lichidelor.

Acum Thomson putea să găsească valoarea lui *m* din raportul $\frac{e}{m}$ măsurat mai înainte şi a găsit-o egală cu $0{,}9 \times 10^{-29}$ g, adică de 1 840 mai mică decît masa atomului de hidrogen.

---

* Dacă aerul ar conţine praf, saturarea vaporilor ar avea loc mai întîi pe particulele de praf, îngreunînd experienţa.

Făcuse o mare descoperire: o particulă de aproape două mii de ori mai uşoară decît cel mai uşor dintre toţi atomii! Thomson a tras concluzia că, în timp ce ionii lui Faraday erau atomii care purtau sarcini electrice, particulele care alcătuiau radiaţiile catodice erau ele însele sarcini electrice libere, şi le-a dat numele de *electroni*. El îşi închipuia atomul ca o sferă de substanţă masivă încărcată pozitiv cu o mulţime de mici electroni împrăştiaţi prin ea, asemenea seminţelor negre în carnea roşie a unui pepene verde. Era, ca să spunem aşa, un „model static", adică se presupunea că electronii din interiorul atomului se află în repaus, în anumite poziţii de echilibru determinate de bilanţul forţelor de repulsie electrostatică dintre sarcinile negative ale electronilor şi forţele de atracţie electrostatică dintre electroni şi centrul corpului încărcat pozitiv al atomului. Cînd un atom devine excitat, adică primeşte un surplus de energie dinafară, se presupune că electronii din interiorul său oscilează în jurul poziţiilor lor de echilibru, emiţînd unde electromagnetice (luminoase) de diferite lungimi de undă. Au fost efectuate calcule laborioase pentru a se încerca să se găsească o corelaţie între frecvenţele de vibraţie ale diferitelor configuraţii electronice şi liniile spectrale observate ale diferitelor elemente chimice, însă munca aceasta s-a dovedit zadarnică şi problema a rămas nerezolvată pînă la apariţia modelului atomic al lui Rutherford.

MISTERIOASELE RADIAŢII X

Un număr de descoperiri importante făcute către sfîrşitul secolului al XIX-lea şi rapidele transformări ale fizicii din forma ei „clasică" în cea „modernă" au avut loc accidental. Însă aceste descoperiri au fost făcute întotdeauna de oameni de ştiinţă cu mintea ascuţită, care erau destul de atenţi să noteze lucrurile neobişnuite şi să continue cercetările lor pînă cînd apăreau faptele importante. La 10 noiembrie 1895 fizicianul german Wilhelm Conrad Roentgen (fig. VII-3), efectuînd anumite experienţe cu radiaţii catodice într-un tub Crookes, a observat că un ecran fluorescent care se afla, din întîmplare, în apropiere, pe masă devenea strălucitor de luminos cînd prin tub trecea un curent electric. Roentgen a acoperit tubul cu o bucată de hîrtie neagră, însă

FIG. VII—3 Max von Laue *(stînga)* şi Wilhelm Roentgen.

fluorescenţa tot nu dispărea. Pe de altă parte o foaie de metal oprea complet efectul. Astfel, în tub era emisă o nouă radiaţie, care putea să străbată cu uşurinţă prin materiale opace pentru lumina obişnuită. Prima fotografie pe care a făcut-o Roentgen cu ajutorul acestei radiaţii nou descoperite, şi pe care el a denumit-o X, a fost cea a mîinii soţiei sale. Pe fotografie se puteau vedea bine structura osoasă a mîinii şi inelul de căsătorie. Studii ulterioare au arătat că radiaţia provine de la capătul îndepărtat al tubului, care era lovit de fasciculul de radiaţii catodice. Intensitatea radiaţiilor X putea fi mărită considerabil dacă în drumul radiaţiilor catodice se plasa o placă de metal greu cunoscută sub numele de „anticatod", (fig. VII-3). Emisia de radiaţii X se datoreşte ciocnirii electronilor, care se mişcă rapid, proveniţi din radiaţiile catodice (după cum îşi aminteşte cititorul, electronii fuseseră descoperiţi cu doi ani mai înainte de către J.J. Thomson), de ţinta plasată în drumul lor. Fiind opriţi brusc din mişcare, îşi aruncă afară energia cinetică sub forma unor unde electromagnetice, similare

undelor sonore ce rezultă din ciocnirea gloanţelor de o placă de metal. Şi, la fel ca şi în cazul gloanţelor, sunetele emise conţin toate frecvenţele posibile fiind mai degrabă „zgomote" decît tonuri muzicale pure. Radiaţiile X reprezintă un amestec al unui continuum de lungimi de undă. Germanii le numesc *Bremsstrahlung* (*Bremse* înseamnă frînă; *Strahlung* înseamnă radiaţie); termenul este utilizat în mod curent şi în limba engleză, ca de altfel mulţi alţi termeni germani (desigur ar suna cam ciudat să i se spună „radiaţie de frînare")*.

Deoarece radiaţiile X nu erau deviate de cîmpul magnetic, Roentgen a presupus, chiar de la început, că ele sînt oscilaţii similare luminii obişnuite. Dacă este aşa, ele ar trebui să prezinte fenomenul de difracţie, şi Roentgen a pierdut mulţi ani încercînd să-l dovedească experimental, însă fără nici un rezultat pozitiv. După 12 ani de la marea lui descoperire, Roentgen, care în timpul acela era profesor de fizică experimentală la Universitatea din München, a fost invitat de un tînăr fizician teoretician (avea pe atunci 33 ani), Max von Laue, de la aceeaşi universitate, să vadă nişte fotografii care tocmai fuseseră făcute de asistenţii W. Friedrich şi P. Knipping. De la prima privire el a înţeles că este exact ceea ce căuta de ani de zile: frumoasele fotografii de difracţie produse de radiaţiile X care trec printr-un cristal (planşa IV *sus*). Von Laue a ajuns la ideea utilizării unui cristal ca reţea de difracţie, pe baza unor consideraţii pur teoretice. Deoarece radiaţiile X nu prezentau nici un fenomen de difracţie, cînd se utilizau reţele optice obişnuite, ele probabil că au o lungime de undă mult mai mică. Dar o reţea cristalină este formată din straturi de atomi sau molecule situate la aproximativ 10^{-8} cm unul de altul. Cînd un fascicul de radiaţii X cade pe o suprafaţă cristalină, el pătrunde adînc în cristal, fiind reflectat, în parte, de către fiecare strat prin care trece (fig. VII-4). Dacă unghiul de incidenţă este astfel, încît undele secundare sînt în fază (*b*), intensitatea fasciculului reflectat va creşte. Pentru un alt unghi la care undele secundare sînt defazate (*a*) trebuie să ne aşteptăm la întuneric. La fel ca şi în cazul

* În limba română termenul *Bremsstrahlung* se foloseşte mai rar; în mod curent se foloseşte „radiaţie de frînare". -*N.T.*

reţelelor optice, figurile de difracţie pot fi observate fie la fasciculul reflectat, fie la cel transmis. Situaţia este complicată de faptul că cristalele au multe sisteme de straturi moleculare paralele, astfel încît figura aşteptată este mult mai complicată decît în cazul luminii obişnuite. Planşa IV *de sus*, realizată în Laboratoarele Bell-Telephone, prezintă difracţia radiaţiilor X într-un aliaj de nichel-fier. Mai tîrziu s-a descoperit că, în afară de spectrul continuu de „radiaţie de frînare", radiaţiile X conţin şi serii de linii fine cu totul asemănătoare spectrelor optice şi se datorează tranziţiilor electronilor în adîncul atomilor. Mai multe cercetări asupra spectrului de linii al radiaţiilor X au fost efectuate de W. Bragg (tatăl) şi W.L. Bragg (fiul) care au dezvoltat metodele precise ale spectrografiei cu radiaţii X.

IZOTOPII

La începutul secolului al XIX-lea, un chimist englez, W. Prout, a fost impresionat de faptul că greutăţile atomice ale diferitelor elemente exprimate în raport cu greutatea atomului de hidrogen luată ca unitate* erau foarte apropiate de numere întregi. Această observaţie l-a condus la ipoteza că atomii diferitelor elemente chimice nu sînt altceva decît aglomerări de numere diferite de atomi de hidrogen: heliu = 4 hidrogeni; carbonul = 12 hidrogeni; oxigenul = 16 hidrogeni etc. Contemporanii lui Prout nu-i împărtăşeau vederile şi s-au grăbit să arate un număr de fapte care contraziceau curajoasa lui ipoteză. Astfel, de exemplu, s-a găsit că greutatea atomică a clorului şi a cadmiului este 35,457 şi, respectiv, 112,41, valori care se află cam pe la jumătatea intervalului dintre două numere întregi. De asemenea, pentru elementele cu greutăţi atomice apropiate de un număr întreg, valorile erau întotdeauna mai mici decît ar fi fost de aşteptat dacă atomii lor ar fi formaţi prin agregarea atomilor de hidrogen. Deoarece greutatea atomică

* Greutatea atomică sau, mai corect, masa atomică relativă este de fapt raportul dintre masa atomului unui element şi a 16-a parte din masa atomică a izotopului ^{16}O considerată egală cu 16,0000.

Din 1961 referirea se face la a 12-a parte din masa atomică a izotopului ^{12}C considerată egală cu 12,0000. *-N.T.*

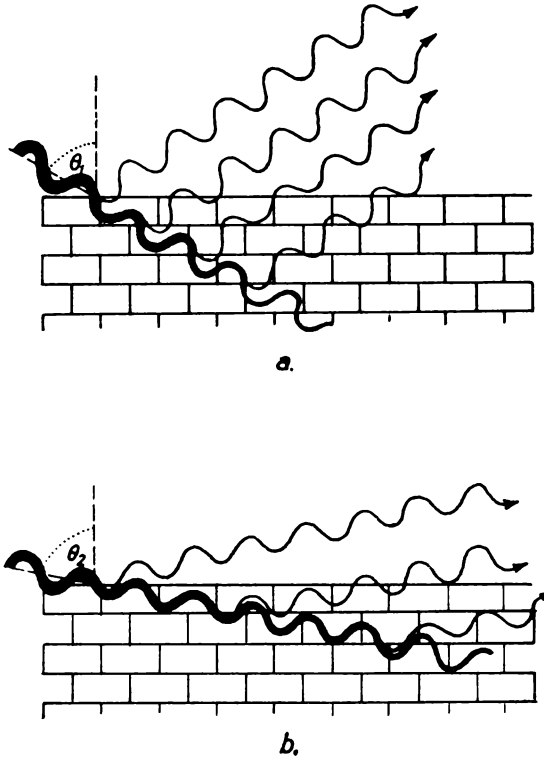


FIG. VII—4 Reflexia radiaţiilor X sau a undelor lui de Broglie pe un cristal. În *(a)* undele secundare reflectate de straturile succesive ale reţelei cristaline (simbolizate prin cărămizi) sînt defazate şi se anulează reciproc. În *(b)* undele secundare sînt în fază, ceea ce conduce la creşterea intensităţii.

a hidrogenului este 1,0080*, calcul pentru greutatea atomică a heliului ar da 4 × 1,0080 = 4,0320, dar ea, de fapt, este 4,003, adică cu 0,8% mai mică. În mod similar, 12 atomi de hidrogen puşi împreună ar da o greutate de 12 × 1,0080 = 12,096, în timp ce greutatea atomică a

* Chimiştii ajustează greutatea atomică de aşa manieră, încît greutatea atomică a oxigenului să fie 16,0000000000 (vezi şi nota precedentă).

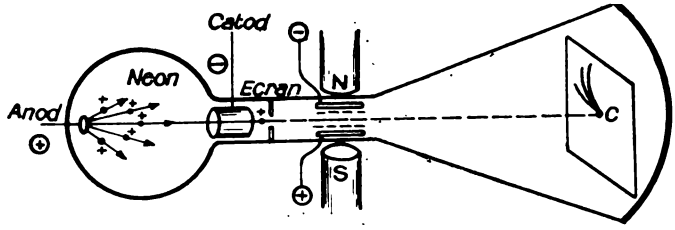


FIG. VII—5 Aparatul lui Thomson pentru studiul razelor canal. Ionii pozitivi se mişcă de la anod spre catod trecînd prin canalele tăiate în catod şi după ce au trecut printr-un ecran intră în regiunea în care cîmpurile electric şi magnetic sînt orientate în aceeaşi direcţie. Deoarece devierea magnetică (în direcţia orizontală) depinde de viteza particulelor, în timp ce devierea electrică (în direcţia verticală), depinde de pătratul acestei viteze, particulele de aceeaşi masă, însă mişcîndu-se cu viteze diferite, se vor distribui de-a lungul unei parabole pe ecranul *C*.

carbonului determinată prin mijloace chimice este de numai 12,010. Din cauza acestor discrepanţe „aparente", ipoteza lui Prout a fost respinsă şi uitată cam o jumătate de secol, pînă cînd a fost readusă la viaţă, în 1907, într-un mod glorios, ca rezultat al studiilor lui J.J. Thomson.

După ce a stabilit existenţa electronului şi după ce a măsurat masa şi sarcina de deviere a fasciculului de electroni în cîmpuri electrice şi magnetice, J.J. şi-a îndreptat atenţia către particulele care se mişcă în direcţii opuse în tuburile de descărcări electrice. Fasciculele de particule încărcate pozitiv erau cunoscute sub numele de „radiaţii canal", deoarece au fost observate pentru prima dată prin efectuarea unor găuri (canale) în placa utilizată drept catod, prin care particulele treceau în spatele catodului. Aparatul utilizat de Thomson pentru studiul radiaţiilor canal este arătat în fig. VII-5 şi se bazează pe acelaşi principiu care a fost deja utilizat în cazul fasciculelor de electroni. Particulele încărcate pozitiv, care apar în descărcarea în gaz dintre anod şi catod, treceau prin gaura (canalul) din catod şi intrau în regiunea în care cîmpurile electric şi magnetic sînt orientate în aceeaşi direcţie. Aşa cum s-a discutat mai înainte, devierea verticală a fasciculului sub acţiunea cîmpului electric este proporţională cu $\frac{e}{m} v^2$, în

timp ce devierea orizontală datorată cîmpului magnetic variază cu $\frac{e}{m} v$. Astfel, pentru particule cu același raport dintre sarcină și masă, însă cu viteze diferite, deviațiile verticale sînt proporționale cu pătratele deviațiilor orizontale, și curbele care se observă pe ecranul fluorescent S sînt presupuse a fi parabole.

Și chiar așa ceva a observat J.J., însă în loc de o singură parabolă (pentru un element chimic dat) existau două sau mai multe, ceea ce indica prezența unor atomi de mase diferite.

În cazul clorului, de exemplu, s-a obținut o parabolă pentru atomii cu masa 34,98 și alta pentru atomii de clor cu masa de 36,98, ambele numere fiind foarte apropiate de niște numere întregi. Atomilor aceluiași element, avînd totuși greutăți atomice diferite, li s-a dat denumirea „izotopi", ceea ce înseamnă că ocupă același loc în sistemul periodic al elementelor al lui Mendeleev. Proporțiile relative ale celor două feluri de atomi de clor (estimate din înnegrirea unei plăci fotografice) s-au găsit egale cu, respectiv, 75,4% și 24,6%. Astfel, greutatea atomică medie este de $34{,}98 \times 0{,}754 + 36{,}98 \times 0{,}946 = 35{,}457$, care coincide exact cu greutatea atomică a clorului determinată prin metode chimice. Studiile ulterioare ale lui F.W. Aston au arătat că același lucru este valabil și pentru alte elemente chimice. Astfel, de exemplu, cadmiul constă din opt feluri de atomi cu greutățile 106, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 116 și cu proporțiile relative de 1,4; 1,0; 12,8; 13,0; 24,2; 12,3; 28,0; 7,3%; greutatea atomică medie este de 112,41 în perfectă concordanță cu măsurătorile chimice. Astfel, vechea idee a lui Prout a revenit la loc de cinste.

Cu toate acestea, chiar și după descoperirea izotopilor, încă mai rămînea o diferență de masă, deoarece, de exemplu, greutățile atomice exacte ale celor doi izotopi de clor erau 34,98 și 36,98, în loc de 35,280 ($= 35 \times 1{,}008$) și 37,296 ($= 37 \times 1{,}008$). De data aceasta însă, nu mai era un neajuns, ci o satisfacție, deoarece conform legii echivalenței energie-masă a lui Einstein, combinația mai multor particule trebuia să cîntărească mai puțin decît particulele inițiale cu o cantitate egală cu energia lor de legătură împărțită la c^2. În felul acesta, diferența dintre masa unui atom compus și

suma maselor constituenţilor săi ne dă o măsură a energiei implicate în procesul de formare. De exemplu, să luăm atomul de carbon $^{12}_{6}C$ care constă din 6 protoni şi 6 neutroni. Masa exactă a atomului de hidrogen este 1,008 131, în timp ce masa neutronului este 1,008 945. Astfel, masa totală ar trebui să fie $6 \times 1{,}008\,131 + 6 \times 1{,}008\,945 = 12{,}102456$. Măsurătorile exacte dau totuşi pentru masa carbonului valoarea 12,003 882, adică cu 0,098 546 unităţi mai puţin. Acest aşa-numit *defect de masă* trebuie să reprezinte masa energiei eliberate la formarea nucleului de carbon din neutroni şi protoni. După Einstein, aceasta corespunde energiei $0{,}098\,6 \times 1{,}66 \times 10^{-24}$* $\times 9 \times 10^{20} = 1{,}48 \times 10^{-4}$ erg sau 92,5 MeV.

MODELUL ATOMIC AL LUI RUTHERFORD

Ernest Rutherford (fig.VII-1) s-a născut în 1871 în apropierea oraşului Nelson în Insula de Sud a Noii Zeelande, şi cînd după mulţi ani mai tîrziu i s-a acordat titlul nobiliar britanic pentru meritele sale ştiinţifice, a devenit Lord Rutherford of Nelson. La vîrsta de 24 de ani, el a venit la Cambridge ca să studieze, sub îndrumarea lui J.J. Thomson, la Laboratorul Cavendish, iar după terminarea studiilor a acceptat postul de profesor la Universitatea McGill din Montreal, unde şi-a adus primele contribuţii importante la studiul fenomenelor de radioactivitate nou descoperite. Mai tîrziu a plecat la Universitatea din Manchester, iar în 1919, după retragerea lui J.J. Thomson, a devenit director la Laboratorul Cavendish. Printre colegi i se spunea „Crocodilul" nume pe care i l-a dat unul dintre studenţii săi favoriţi, fizicianul sovietic Piotr Kapiţa. Trebuie să spunem că, în timp ce pentru englezi, care se duc adeseori (sau mai degrabă se duceau) în Egipt şi îi muşcă sau îi mănîncă crocodilii, această poreclă sună cam înjositor, pentru Kapiţa aceasta însemna un simbol al puterii şi robusteţii. Deşi nimeni nu îndrăznea să pronunţe această poreclă în prezenţa lui Rutherford, el o cunoştea şi se mîndrea chiar în sinea lui de ea. Iar pe peretele noii clădiri,

* $1{,}66 \times 10^{-24}$ g este $\frac{1}{16}$ din masa atomului de oxigen.

construite pentru studiile lui Kapiţa asupra cîmpurilor magnetice foarte puternice, a fost pus un mare basorelief care reprezenta un crocodil, fără nici o altă explicaţie oficială.

Aducîndu-şi aminte de zilele petrecute la Cavendish, autorul îşi reaminteşte de un incident de la Cambridge în legătură cu „Crocodilul"...

„Îl ştiţi cumva pe inimosul lord
Pe care-l cheamă Ernest Rutherford,
Englez, deşi născut la ferma unui neozeelandez
Şi care n-a pierdut nicicînd contactul cu pămîntul;
Iar vocea lui bubuitoare şi răcnetu-i voios
Trecea prin orice zid, oricît de gros,
Dar dacă cineva îl supăra
Atunci aveai s-auzi cîte spunea
În graiul viu şi colorat ce se vorbea-n întreaga ţară,
Aşa ca orişicine să poată să înţeleagă!

Şi o dată, pe cînd Gamow era-nvitat la el,
Avu şi el prilejul ca să-i asculte glasul,
Căci Rutherford organizase un ceai
În cinstea lui Niels Bohr
(De care poate aţi mai auzit).
Bărbaţii doar de cricket şi de golf vorbeau,
În timp ce doamnele se entuziasmau
Pentru vreo bluză, un şal, ori vreo eşarfă,
Iar Bohr a început să se cam plictisească.
„Ei, Gamow, zise el, eşti cu motocicleta ta.
Ai vrea ca să-mi arătaţi cum funcţionează ea?
Să mergem, deci, căci ceaiul n-are nici un haz!"
Şi Bohr a şi pornit,
Iar Gamow alerga în urma lui.
Apoi, în timp ce Gamow îi arăta,
Niels Bohr, care stătea în şa,
A şi pornit năvalnic de-a lungul străzii Backs,
Înspăimîntînd tot ce-ntîlnea.
Deşi el a pornit fălos şi bine
În şa nu s-a putut prea mult timp ţine.
Doar cincizeci metri apucă să facă
Şi aprigul motor s-a-nţepenit,

Şi-atunci o bruscă-ntoarcere-n-napoi făcînd
Tot traficu-opri pe strada Quin.
Şi-n timp ce Gamow alerga spre el
Şi-l ajuta pe Bohr în fel şi fel,
Cine, ca Jupiter, credeţi că apărea?
Chiar Rutherford, tunîndu-i la ureche cam aşa:
„Gamow, dacă-i mai dai lui Bohr vreodată droaşca asta,
Să-ncurce traficul sau chiar să-l întrerupă,
Mă jur să-ţi frîng afurisitul gît!"

Dar să ne întoarcem la anii petrecuţi de Rutherford la Manchester. Lui nu i-a plăcut modelul în formă de pepene al atomului lui Thomson şi s-a hotărît să studieze interiorul atomului, bombardîndu-l cu noi tipuri de proiectile, care au ajuns la îndemîna fizicienilor după descoperirea radioactivităţii. În timpul primilor ani petrecuţi la McGill, Rutherford a arătat că aşa-numitele particule alfa, emise de diferite elemente radioactive, sînt de fapt fascicule de ioni pozitivi de heliu emise cu o energie foarte mare de către atomii instabili. Interacţionînd cu părţile încărcate ale atomilor, particulele alfa trebuie să fie deviate din drumul lor iniţial, iar împrăştierea rezultantă a fasciculului dă informaţii asupra distribuţiei sarcinilor electrice din interiorul atomului. Astfel, Rutherford a trimis fascicule de particule alfa asupra unor foi subţiri făcute din diferite metale (fig. VII-6) şi a determinat numărul de particule care au fost împrăştiate în diferite direcţii după ce au trecut prin foiţă. Atunci numărarea particulelor se făcea printr-o procedură laborioasă. În timp ce azi fizicianul poate să conecteze un contor Geiger automat şi apoi să plece la plimbare sau să vadă un film, Rutherford trebuia să privească printr-un microscop un ecran fluorescent, plasat în calea fasciculului, şi să numere pe degete scintilaţiile, adică micile scîntei care se produceau cînd o particulă de mare energie lovea ecranul. Cîţiva fizicieni nuclearişti din acea vreme înghiţeau chiar beladonă ca să le mărească pupila. Ca rezultat al acestor studii, Rutherford a constatat că împrăştierea particulelor alfa care au trecut prin foiţă era foarte mare. Deşi cele mai multe dintre particulele fasciculului incident îşi păstrează direcţia iniţială de mişcare, totuşi o parte dintre ele sînt deviate cu multe grade, iar cîteva sînt

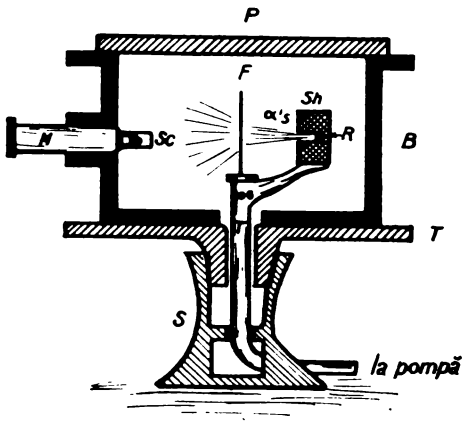


FIG. VII—6 Primul aparat pentru studiul împrăştierii radiaţiilor alfa. O cutie vidată *B* cu placa de sus detaşabilă *P* este aşezată pe o masă rotitoare *T*. Sursa radioactivă *R* plasată într-o protecţie de plumb *Sh* ca şi firul împrăştietor *F* sînt fixate de soclul *S*. Microscopul *M* cu ecran scintilator *Sc* este fixat de cutie şi se poate roti în jurul unei axe orizontale.

chiar, practic, întoarse înapoi. Acest rezultat nu se potrivea de loc cu ceea ce ar fi fost de aşteptat de la modelul lui Thomson, în care masa sarcinilor pozitive era distribuită aproape uniform prin tot corpul atomului. De fapt, în acest caz, interacţiunea dintre sarcina particulei incidente şi sarcinile interne ale atomului nu ar fi fost niciodată atît de puternică, încît să devieze o particulă alfa cu un unghi mare de la direcţia ei iniţială, lăsînd la o parte posibilitatea aruncării ei înapoi. Singura explicaţie posibilă era că sarcina pozitivă şi masa atomului erau concentrate într-o regiune foarte mică, practic într-un punct chiar în centrul atomului (fig. VII-7). Pentru a vedea dacă această presupunere concordă cu împrăştierea observată, trebuia stabilită o formulă bazată pe legile mecanicii, pentru abaterea particulelor care trec la diferite distanţe de centrul de împrăştiere. Ca mulţi dintre marii experimentatori, lui Rutherford nu-i plăcea matematica şi, cel puţin după ceea ce spunea, această formulă a fost calculată pentru el de către un tînăr matemati-

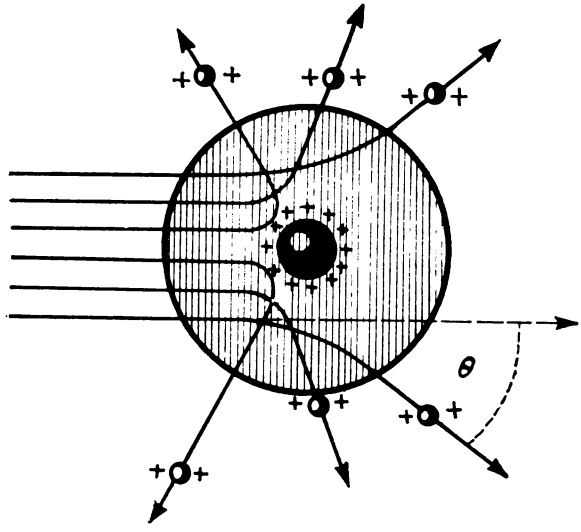


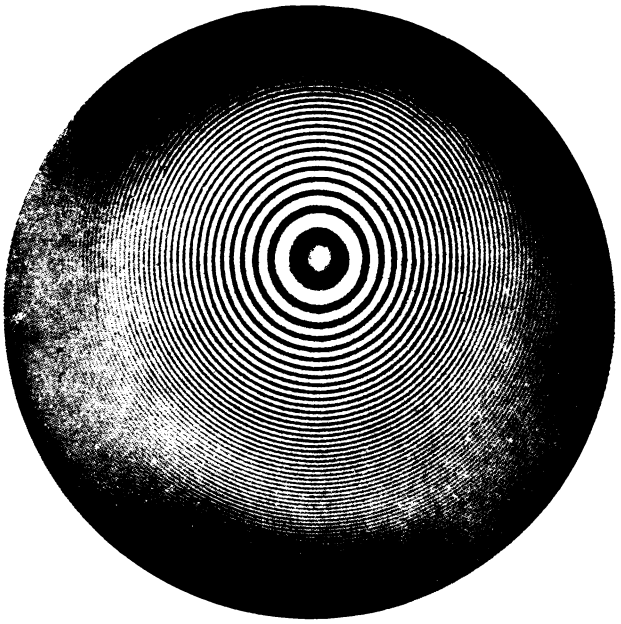
FIG. VII—7 Modelul nuclear al atomului.

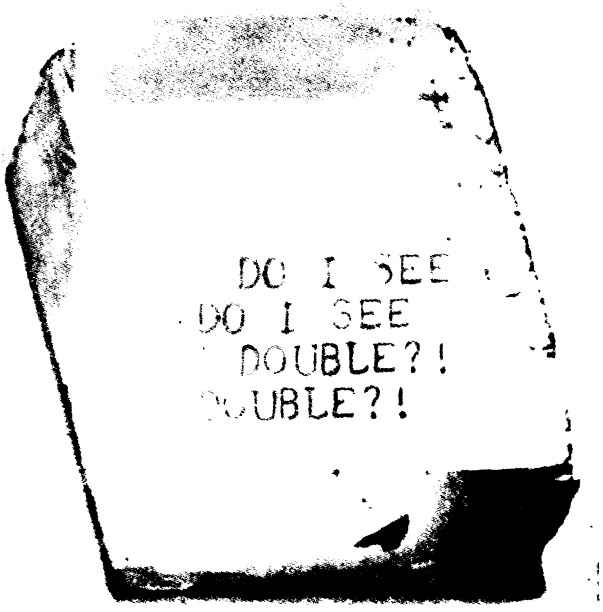
cian, R.H. Fowler, care mai tîrziu s-a şi căsătorit cu fata lui Rutherford. Conform formulei lui Rutherford, numărul de particule alfa deviate cu unghiul ϑ de la direcţia iniţială de mişcare trebuie să fie invers proporţională cu inversul puterii a patra a lui $\sin\frac{\vartheta}{2}$, şi această concluzie concordă foarte bine cu graficele de împrăştiere observate. Astfel a apărut o imagine cu totul nouă a atomului, cu o parte centrală micuţă, dar densă şi grea, pe care Rutherford a denumit-o *nucleul atomic* şi un roi de electroni care se rotesc în jurul lui sub acţiunea atracţiei coulombiene. El părea mai mult sau mai puţin asemănător sistemului nostru de planete care se rotesc în jurul Soarelui şi îşi păstrau orbitele datorită forţelor newtoniene de gravitaţie. Mai tîrziu, studenţii lui Rutherford, H. Geiger şi E. Marsden, prin lucrările lor, au stabilit că sarcina pozitivă a nucleului şi numărul de electroni (ceea ce de fapt este acelaşi lucru) sînt egale cu numărul de poziţie sau *numărul atomic* al elemen-

tului respectiv în sistemul periodic al elementelor al lui Mendeleev. Aşa a început să apară imaginea actuală a structurii atomice.

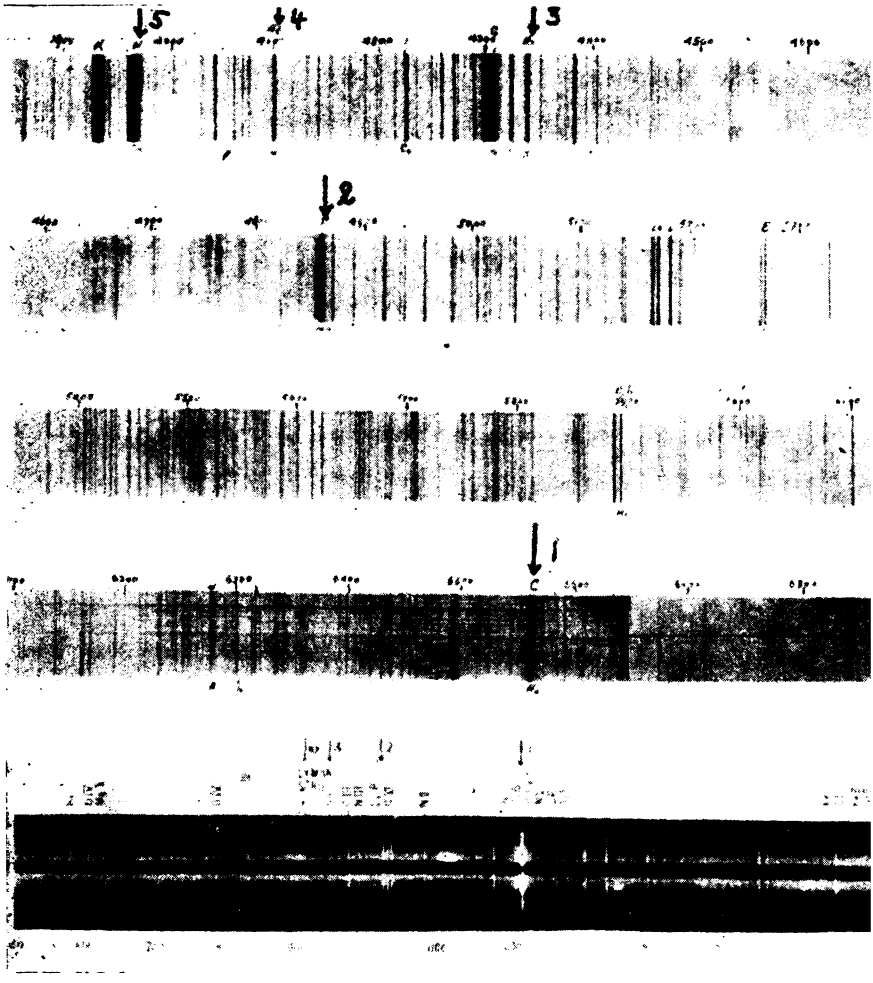
CATASTROFA ULTRAVIOLETĂ

Ar trebui să ne întoarcem puţin în istorie, la ultima decadă a secolului al XIX-lea, cînd fizica a trecut, prin durerile metamorfozei, de la larva clasică la fluturele modern. În timpul acesta, lucrările lui Boltzmann, Maxwell şi alţii au dezvoltat bine teoria cinetică a căldurii şi nu era nici o îndoială că ceea ce noi numim „căldură" este rezultatul mişcării neregulate, întîmplătoare, a nenumărabilelor molecule care formează corpurile materiale. În cazul cel mai simplu, al gazelor, în care moleculele zboară liber prin spaţiu, se pot deduce expresii matematice simple din distribuţia de viteze, din numărul de ciocniri intermoleculare şi din alte caracteristici moleculare ale fenomenelor termice. Cam pe atunci, un renumit fizician, astronom şi scriitor de cărţi de popularizare englez, Sir James Jeans, s-a hotărît să aplice metodele statistice — care s-au dovedit foarte potrivite în studiul mişcării termice a moleculelor — şi la problema radiaţiei termice. Am văzut în capitolul IV că corpurile fierbinţi emit continuu un spectru luminos cu vibraţii de toate frecvenţele şi lungimile de undă. Am mai văzut, de asemenea, că pentru fiecare temperatură dată, există o anumită distribuţie de energie disponibilă între diferite lungimi de undă, şi că lungimea de undă corespunzătoare concentraţiei maxime a energiei se schimbă cu variaţia temperaturii (fig. IV-13). Jeans s-a întrebat, el însuşi, dacă distribuţia de energie între diferitele lungimi de undă, în cazul radiaţiei, se supune aceleiaşi legi statistice ca şi distribuţia de energie între moleculele gazului. Să considerăm aşa-numitul „cub al lui Jeans", o cutie în care sînt fixate nişte „oglinzi ideale", adică oglinzi ce reflectă 100% lumina care cade pe ele. Desigur, fiecare oglindă absoarbe o parte din lumina incidentă înainte de a o reflecta, însă aici vorbim despre „o experienţă imaginată" similară cutiei lui Einstein din teoria relativistă a gravitaţiei. Avînd un astfel de cub al lui Jeans, care are o mică fereastră cu jaluzea pe una dintre părţi, putem să deschidem jaluzeaua lăsînd să



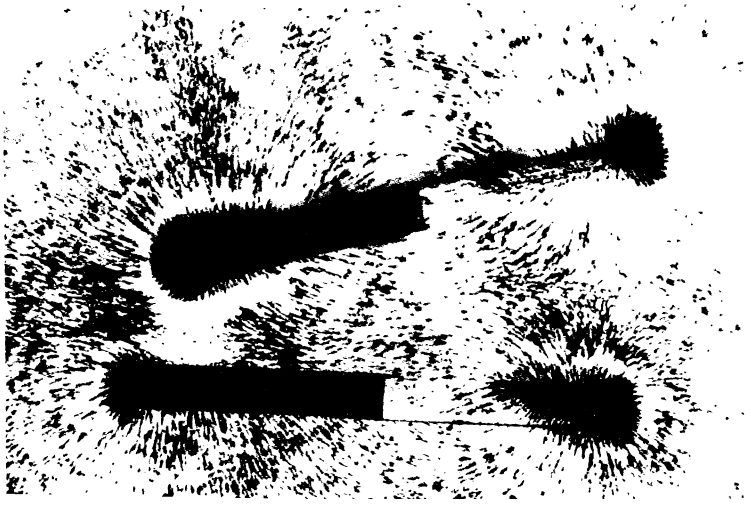


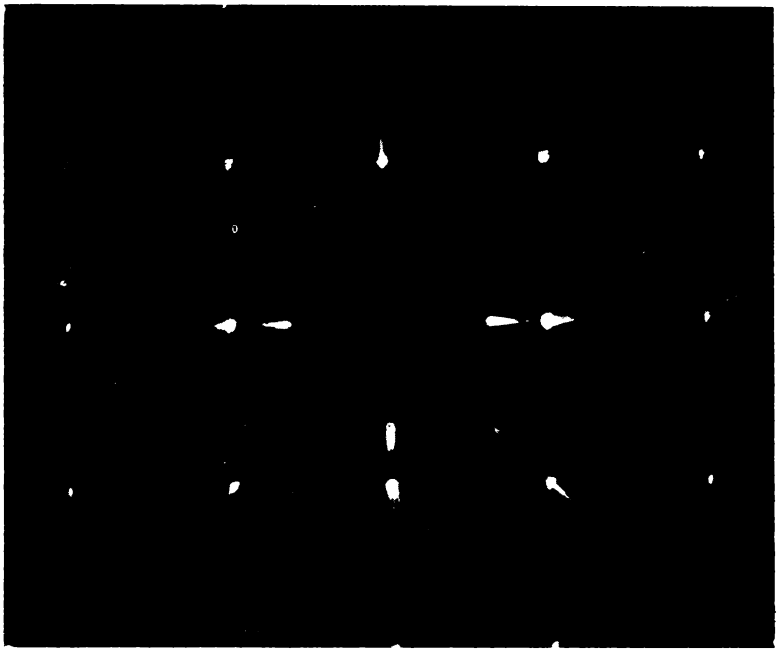
PLANȘA I. *(sus)* **Inelele** lui Newton. *(jos)* Dubla **refracție** într-un cristal de spat de Islanda. (Prin amabilitatea lui Dalton Kurts de la Universitatea din Colorado).



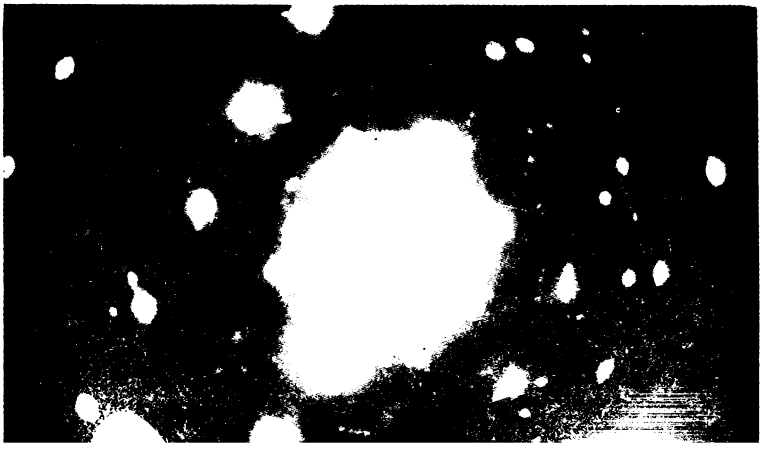
PLANȘA II. (*a,b,c,d,*) Partea vizibilă a spectrului solar obținut cu ajutorul unui heliograf de 13 picioare (circa 4,3 m). Liniile numerotate corespund spectrului lui Balmer pentru hidrogen. (Prin amabilitatea Observatorului de pe muntele Wilson). *e* — Domeniul ultravioletului îndepărtat din spectrul Soarelui obținut cu ajutorul unei rachete de mare altitudine. Liniile numerotate corespund spectrului lui Lyman al hidrogenului. (Prin amabilitatea Laboratorului de cercetări navale.)

PLANȘA III. Liniile magnetice de forță între doi magneți orientați în sens opus (*sus*) și același sens (*jos*). (Prin amabilitatea lui R. Conklin pe cînd era la Universitatea din Colorado.)





PLANȘA IV. (*sus*). Difracția radiațiilor X în aliaje fier-nichel (*jos*). **Difracția** electronilor de 100 keV în același aliaj. (Prin amabilitatea lui **R.D.** Heidenreich, Laboratoarele Bell-Telephone.)



intre în interior lumină de la o lampă, lumină pe care o putem reţine prin reînchiderea jaluzelei. Deoarece lumina nu poate fi absorbită de pereţii cutiei, ea va suferi nenumărate reflexii şi dacă, peste o oră sau două, vom deschide jaluzeaua, lumina va ieşi afară din cutie, aşa cum iese gazul prin valva deschisă a unui pneu de automobil.

În fig. VII-8 se dă o comparaţie între două cutii, una umplută cu molecule în mişcare termică, iar alta cu radiaţie termică de diferite lungimi de undă. În primul caz, moleculele se mişcă în spaţiu în toate direcţiile posibile, cu toate vitezele posibile, fiind reflectate de pereţii cutiei şi, ocazional, ciocnindu-se între ele în zbor. În al doilea caz avem unde luminoase de diverse lungimi, care se propagă în toate direcţiile posibile, fiind reflectate de oglinzile de pe pereţi. Din al doilea desen lipsesc „ciocnirile între unde" care ar permite un schimb de energie între ele. Într-adevăr, proprietatea fundamentală a oricărui fel de unde, fie că e vorba de valuri în ocean, de unde sonore, de unde radio sau de unde luminoase, este aceea că dacă ele se întîlnesc, nu se influenţează una pe alta. Valurile de la prova a două vapoare ce navighează alături, undele sonore care transportă cuvintele din conversaţia mai multor persoane într-o cameră, undele radio de la două staţii de emisie situate în acelaşi oraş sau două fascicule luminoase de la două reflectoare care se încrucişează pe cer trec unele prin altele ca şi cînd ar fi două bătrîne şi cuminţi fantome din evul mediu. Pentru a înlocui această lipsă de analogie, să ne închipuim în interiorul cubului lui Jeans cîteva mici particule de praf de cărbune care pot absorbi o parte din energia unei anumite lungimi de undă, şi apoi să o reemită cu o altă lungime de undă. Vorbim figurativ despre praful de cărbune, deoarece este negru şi se ştie că corpurile negre (sau, mai exact, corpurile negre *ideale*, pentru a se potrivi cu oglinzile *ideale* din cubul lui Jeans) absorb şi emit radiaţie de orice lungime de undă. Particulele din praful de cărbune sînt introduse în acest experiment imaginat, numai pentru a permite schimbul de energie între vibraţiile luminoase de diferite lungimi de undă. Ele pot face lucrul acesta fără a lua energie de la sistem, din cauza dimensiunilor lor mici şi a capacităţii calorice corespunzătoare mici.

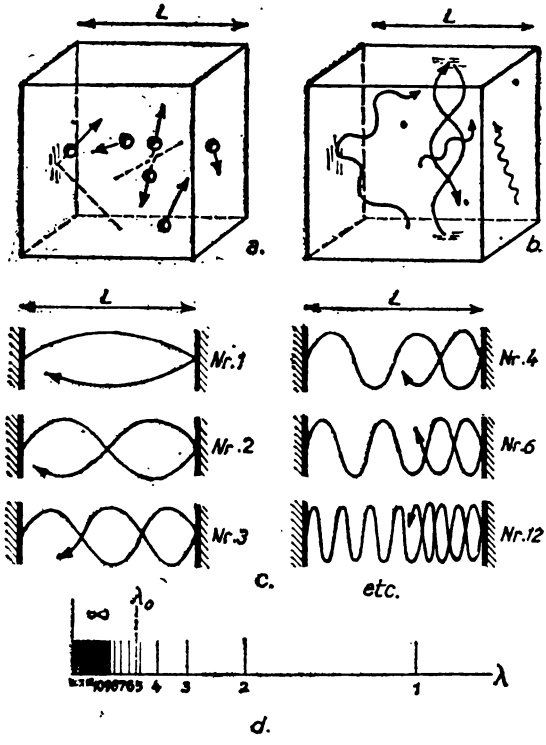


FIG. VII—8 Comparație între mișcarea întîmplătoare a moleculelor gazului într-un container închis *(a)* și mișcarea întîmplătoare a undelor în cubul lui Jeans *(b)*. Punctele negre din *(b)* reprezintă micile particule de praf de cărbune care servesc drept schimbători de energie între unde. Diferite moduri de vibrație *(c)* în cubul lui Jeans (pentru simplitate s-a luat cazul unidimensional), iar în *(d)* se dă spectrul corespunzător.

Acum să vedem cum se distribuie energia disponibilă între diferitele vibrații care pot exista în cubul lui Jeans. În fizica statistică există o lege fundamentală cunoscută sub numele de „legea echipartiției energiei". Ea afirmă că, dacă avem un număr foarte mare de sisteme (de exemplu, molecule individuale de gaz) care se află în interacțiune statistică între ele, energia disponibilă va fi, în medie, egal

distribuită printre ele. Astfel, dacă se află la un loc, într-un vas N, molecule de gaz şi energia totală disponibilă este E, fiecare moleculă va avea, în medie, energia:

$$\varepsilon = \frac{E}{N}.$$

Aceeaşi lege simplă trebuie să se aplice şi mulţimii de unde care pot exista în interiorul cutiei lui Jeans. Dar cîte astfel de unde pot să existe acolo? Considerînd, pentru simplitate, numai undele care se deplasează orizontal între peretele din dreapta şi cel din stînga ai cutiei (fig. VII-8c), găsim că această situaţie este similară cu cea a unei coarde de vioară fixată la cele două capete (vezi experienţele lui Pitagora descrise în cap.I). Cea mai lungă undă posibilă va fi nr. 1, a cărei lungime de undă este de două ori distanţa L dintre pereţi. Următoarea, mai mică, va fi nr. 2, cu o lungime de undă egală cu L sau, ceea ce e acelaşi lucru, $\frac{2L}{2}$. Următoarele, încă şi mai scurte, vor fi $\frac{2L}{3}$, $\frac{2L}{4}\left(\text{sau } \frac{L}{2}\right)$, $\frac{2L}{5}$, $\frac{2L}{6}$ $\left(\text{sau } \frac{L}{3}\right)$, ... $\frac{2L}{100}$, $\frac{2L}{101}$, ... $\frac{2L}{1\,000\,000}$.... Nu există o limită inferioară pentru lungimile de undă posibile în vibraţiile electromagnetice şi, continuînd şirul de mai sus, vom trece prin lumina vizibilă, ultravioletul, radiaţii X, radiaţii gamma etc. Astfel, numărul vibraţiilor posibile este infinit şi generalizînd acest lucru pentru undele care se propagă în cele trei direcţii, obţinem, desigur, acelaşi rezultat. Astfel, urmînd legea clasică a echipartiţiei energiei, şi împărţind energia disponibilă, indiferent cît de mare ar fi, la toate undele posibile, obţinem:

$$\varepsilon = \frac{E}{\infty} = 0.$$

Din punct de vedere fizic, aceasta înseamnă că, dacă împărţim toate lungimile de undă posibile, prezentate în fig. VII-8d, în două grupe, printr-o linie verticală marcată cu λ_0, întotdeauna la dreapta lui λ_0 va exista un număr finit de vibraţii posibile, iar între λ_0 şi punctul zero, un număr infinit. Principiul echipartiţiei va cere ca toată energia

disponibilă să fie dată vibraţiilor cu lungime de undă mai scurtă decît λ_0, indiferent cît de mic e λ_0. De aceea, dacă umplem cubul lui Jeans cu lumină roşie, această lumină va începe să se transforme (prin absorbţia şi reemisia ei de către praful de cărbune) în radiaţii ultraviolete, radiaţii X, radiaţii gamma etc. Ceea ce este adevărat pentru cubul ipotetic al lui Jeans trebuie să fie adevărat şi în general, deci deschizînd uşa cuptorului de la bucătărie sau uşa de la cuptorul unei locomotive ar trebui să fim izbiţi de o radiaţie de mică lungime de undă care ne-ar ucide pe loc. Această concluzie este, evident, fără sens, însă pe de altă parte, ea rezultă din aplicarea la energia radiantă a legilor fundamentale ale fizicii clasice.

Un număr de ani după publicarea articolului lui Jeans, nici acesta şi nimeni, de altfel, nu ştia cum să explice acest rezultat paradoxal. În timpul ultimei săptămîni a ultimului an al veacului trecut, fizicianul german, Max Planck (fig. VII-9), s-a urcat la tablă, la şedinţa de Crăciun a Societăţii germane de fizică şi a făcut o propunere extraordinară. Ideea era că lumina şi orice fel de radiaţie electromagnetică, care erau considerate întotdeauna constînd dintr-un tren continuu de unde, ar fi formate, de fapt, din pachete individuale de energie, în care cantitatea de energie a fiecărui pachet e bine definită. Cantitatea de energie pe pachet depinde de frecvenţa de vibraţie ν şi este direct proporţională cu ea, astfel că putem scrie:

$$\varepsilon = h\nu,$$

unde h este o constantă universală. Planck a denumit aceste pachete de energie *cuante de lumină* (sau, mai general, *cuante de radiaţie*), şi constanta h e cunoscută drept *constanta cuantică*.

Cum a reuşit această idee revoluţionară a lui Max Planck să înlăture pericolul catastrofei ultraviolete a lui Jeans?

Pentru a da posibilitate cititorului să întrevadă cum s-ar putea face aceasta, să luăm în considerare cazul unui om care a murit, lăsînd o avere să zicem de 600$. El nu a avut urmaşi, ci numai cinci creditori: un barman, un măcelar, un farmacist, un băcan şi un croitor, fiecare vrînd să-şi recupereze banii, iar datoria totală fiind considerabil mai mare decît banii disponibili. Cea mai simplă soluţie ar fi

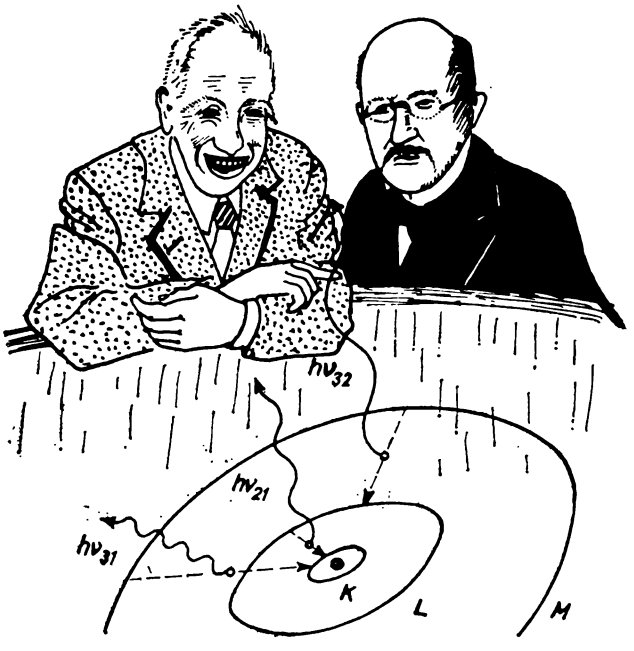


FIG. VII—9 Niels Bohr *(stînga)* şi Max Planck şi tranziţiile cuantice în atomul de hidrogen.

să se folosească „legea echipartiţiei" şi să se dea fiecăruia cîte 100$. Dar lucrurile sînt mai complicate prin faptul că fiecare dintre creditori ar vrea să ia toţi banii care i se datorează sau nimic. Barmanul vrea toţi cei 600$, măcelarul şi farmacistul pretind cîte 300 $ fiecare, în timp ce băcanul vrea 200$, iar croitorul 120$. Din cauză că banii nu ajung pentru a plăti aceste datorii, judecătorul trebuie să revină la ceea ce se numeşte printre oamenii legii „echitate", adică soluţia de bun-simţ. Ar fi, desigur, iraţional să se dea toţi cei 600 $ barmanului iar restul creditorilor să fie lipsiţi de bani. O soluţie mai raţională ar fi să se dea banii creditorilor cu pretenţii mai mici şi să se refuze cererile celor care pretind prea mult. Astfel, de exemplu, croitorului i s-ar putea da

100 $, băcanului 200 şi, fie băcanului, fie farmacistului, 300 $ (dînd cu banul) şi nimic barmanului. (E de notat aici că acest principiu de distribuţie a fondurilor este utilizat acum de către Fundaţia naţională a ştiinţei, care are foarte puţini bani şi încearcă să-i distribuie just între diferiţii contractanţi.) Fără îndoială că echitatea oferă o singură soluţie pentru problemele de acest fel, spre deosebire de fizica statistică. O dată ce a fost introdusă ipoteza referitoare la cantitatea minimă de energie a cuantelor de lumină de diferite lungimi de undă, legile exacte ale matematicii statistice încep să funcţioneze, deposedînd de orice energie multe dintre vibraţiile de scurtă lungime de undă, din cauza pretenţiilor lor neraţional de mari. Ca rezultat se obţine o formulă pentru distribuţia energiei în radiaţia termică în care cea mai mare parte a energiei este atribuită undelor de lungime medie, în timp ce vibraţiile cu lungimi de undă scurte, cu pretenţii foarte mari, primesc foarte puţin sau nimic.

Formula dedusă de Planck pe baza ipotezei sale, a cuantelor de lumină, s-a dovedit în perfectă concordanţă cu toate legile cunoscute ale radiaţiei termice. Dar introducînd ideea pachetelor individuale de energie, în imaginea clasică a propagării undelor de lumină s-a produs o revoluţionare a ideilor, comparabilă numai cu aceea care a rezultat din experienţa Michelson-Morley.

REALITATEA CUANTELOR DE LUMINĂ

Dacă iniţial noţiunea de pachete de energie radiantă a lui Planck era oarecum vagă şi servea numai ca bază pentru distribuţia statistică a energiei între diferitele lungimi de undă din spectru, ea a căpătat o formă mult mai clară în mîinile lui Albert Einstein, cinci ani mai tîrziu. Într-unul din cele trei articole publicate de el în 1905*, Einstein a utilizat ideea cuantelor de lumină pentru a explica aşa-numitul „efect fotoelectric". Se ştie că lumina (în special lumina ultravioletă) care cade pe suprafeţe metalice transmite acestora o sarcină electrică pozitivă. După descoperirea

* După cum s-a mai menţionat, celelalte două se refereau la mişcarea browniană şi la teoria relativităţii.

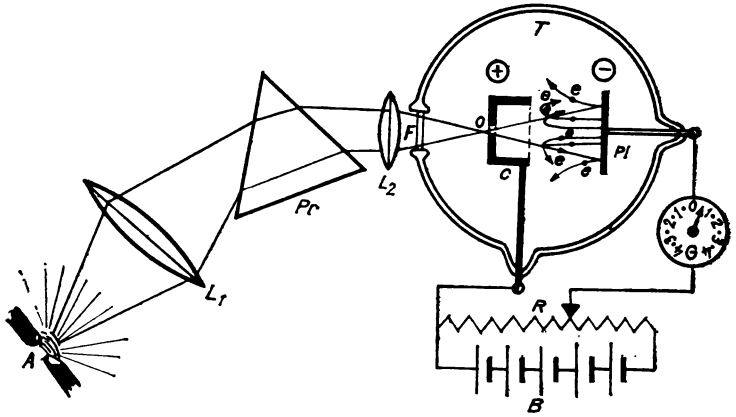


FIG. VII—10 Aranjamentul experimental pentru studiul efectului fotoelectric. Fotoelectronii emişi de placa *Pl* către cilindrul *C* sînt opriţi de cîmpul electric, dacă diferenţa de potenţial între *Pl* şi *C* este destul de mare.

electronilor, s-a verificat că acest efect se datorează emisiei de electroni de către suprafeţele iluminate.

Un aranjament tipic pentru studiul efectului fotoelectric este prezentat în fig. VII-10. Lumina de la un arc electric *A* (care conţine multe radiaţii ultraviolete) trece printr-un sistem de două lentile de cuarţ, L_1 şi L_2 şi o prismă, *Pr* („monocromator") care separă diferitele lungimi de undă. Fasciculul ales (care poate fi schimbat prin rotirea prismei) intră printr-o fereastră de cuarţ *F* în tubul vidat *T*, trece printr-o gaură făcută la baza cilindrului de cupru *C* şi cade pe placa de metal *Pl*, care poate fi făcută din diferite materiale. Un potenţial electric variabil între placă şi cilindru încetineşte mişcarea fotoelectronilor emişi. (Bateria *B* şi rezistenţa *R*, variabilă, asigură tensiunea electrică, iar galvanometrul *G* măsoară curentul.) Cînd potenţialul electric aplicat, înmulţit cu sarcina electronului devine egal cu energia cinetică a electronilor, curentul din circuit este oprit. Astfel, variind intensitatea şi lungimea de undă a luminii incidente şi măsurînd potenţialul la care se opreşte curentul, găsim relaţia dintre intensitatea şi frecvenţa

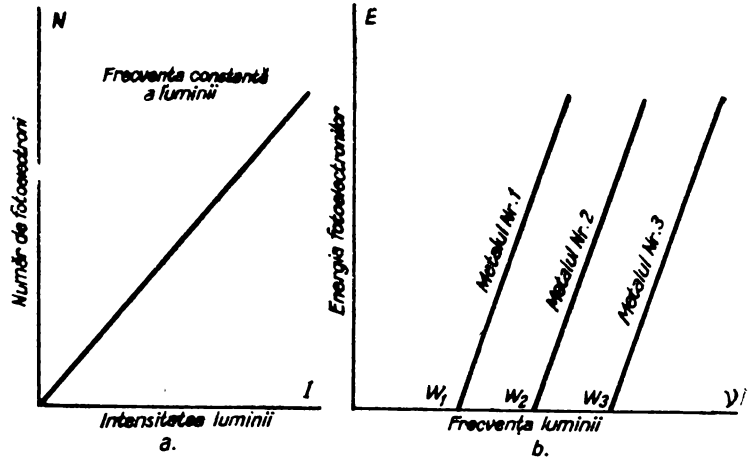


FIG. VII—11 Legile efectului fotoelectric determinate experimental: *a* — dependența numărului de fotoelectroni de intensitate a luminii; *b* — dependența energiei fotoelectronilor de frecvența luminii.

luminii şi viteza fotoelectronilor. Studiile experimentale ale efectului fotoelectric au condus la două legi:

I. Pentru o frecvență dată a luminii incidente, energia fotoelectronilor emişi nu variază, ci numai numărul lor creşte direct proporțional cu intensitatea luminii.

II. Cînd frecvența luminii incidente variază (creşte), nu se emite nici un electron pînă cînd nu se atinge o anumită frecvență de prag (depinzînd de natura metalului). Pentru frecvențe mai înalte, energia fotoelectronilor creşte direct proporțional cu diferența dintre frecvența utilizată şi frecvențele de prag. Cele două legi sînt prezentate grafic în fig. VII-11. Legile acestea foarte simple nu se potriveau de loc cu prezicerile teoriei clasice electromagnetice a luminii. Conform acestei teorii, creşterea *intensității* luminii ar însemna creşterea forței electrice oscilante din undă. Acționînd asupra electronilor din apropierea suprafeței metalului (aceştia sînt electronii care transportă curentul electric prin sîrmele metalice), această forță electrică mai puternică ar trebui să-i arunce în afară cu o energie cinetică mai mare. Experiența a arătat că şi atunci cînd intensitatea luminii

era crescută de o sută de ori, fotoelectronii erau emişi cu exact aceeaşi viteză. Pe de altă parte, curba din fig. VII-11 arată o legătură bine definită între viteză (sau energia cinetică) a electronilor şi *frecvenţa* luminii incidente, relaţie care pare lipsită de sens în teoria electromagnetică, clasică, a luminii.

Utilizînd ideea de cuantă de lumină, care transportă o cantitate determinată de energie proporţională cu frecvenţa ei, se poate obţine totuşi o explicaţie a celor două legi empirice într-un mod cu totul natural. Cînd o cuantă de lumină incidentă loveşte suprafaţa metalului şi interacţionează cu unul dintre electroni, ea trebuie să-i comunice electronului toată energia ei, deoarece nu poate exista energie mai mică de o cuantă. Intensităţi mai mari de lumină înseamnă mai multe cuante de lumină de aceeaşi frecvenţă şi, de aceea, proporţional, mai mulţi electroni cu aceeaşi energie cinetică. Cînd frecvenţa luminii incidente creşte, situaţia se schimbă. Fiecare cuantă de lumină are acum mai multă energie şi o comunică electronului pe care îl smulge din metal, imprimîndu-i o mare viteză. Trecînd prin suprafaţa metalului, electronul pierde o anumită cantitate de energie primită de la cuanta de lumină; această cantitate de energie depinde de natura metalului şi e cunoscută sub numele de „lucru de ieşire". Astfel, energia fotoelectronului e dată de formula foarte simplă:

$$E = h\nu - W,$$

unde W reprezintă lucrul de ieşire (sau lucrul de extracţie. — *N.T.*) pentru metalul respectiv. Cîtă vreme $h\nu < W$ (sau $E < 0$), electronii nu iau destulă energie de la cuanta de lumină pentru a străbate suprafaţa şi nu se întîmplă nimic. Dar dacă $h\nu$ devine mai mare decît W, începe emisia de fotoelectroni, iar energia electronilor creşte liniar cu ν. Panta curbei din fig. VII-11b trebuie să fie egală cu constanta cuantică h şi, desigur, aşa şi este! Astfel dintr-o singură lovitură, Einstein a explicat misterioasele legi ale efectului fotoelectric şi a dat un puternic suport ideii originale a lui Planck referitoare la energia radiantă sub formă discontinuă.

Ipoteza cuantelor de lumină, care de atunci poartă numele de teorie, a primit un alt sprijin serios din partea fizicianului american Arthur Compton, cîntăreţ din havaiană, campion

de tenis şi mare cercetător al naturii radiaţiilor cosmice. Aceste ultime studii i-au adus faima de cel mai puternic om din Mexic. Împrejurările în care a făcut descoperirea, dezvăluite autorului chiar de Compton, au fost următoarele. Studiind variaţia intensităţii radiaţiilor cosmice, de la pol la ecuator, Compton a trebuit să facă măsurători şi pe undeva prin partea de sud a Mexicului. Locul măsurătorilor trebuia să fie stabilit undeva, afară din oraş, pentru a evita perturbările produse de liniile de înaltă tensiune, de trafic etc. însă, pe de altă parte, trebuia să aibă o suficient de bună alimentare cu curent electric. A fost aleasă o mănăstire catolică, aflată la o oarecare distanţă la sud de Mexico-City, un loc liniştit cu o staţie proprie de curent electric şi baterii de acumulare şi cu un stareţ dornic să sprijine dezvoltarea ştiinţei. Compton a sosit în staţia de cale ferată cea mai apropiată de mănăstire, cu vreo 12 lăzi pline cu echipament ştiinţific; erau nişte lăzi de lemn cu aspect plăcut, cam cît un geamantan de mărime mijlocie, şi cu mînere de metal pentru a fi transportate mai uşor. Două dintre lăzi conţineau patru electrometre Kohlrausch — nişte sfere negre de metal cu ferestruici mici prin care să se poată observa filamentul care înregistrează sarcinile electrice. Restul lăzilor erau încărcate cu cărămizi de plumb pentru protecţia împotriva radiaţiilor.

Toţi cei care au vizitat Mexicul ştiu foarte bine că, după sosirea trenului în gară, pasagerii sînt imediat înconjuraţi de o mulţime de oameni desculţi şi de copii care strigă: *„Llevo su equipaje señor?"* (Să vă duc bagajul domnule?) trăgîndu-ţi geamantanul din mînă. În această situaţie Compton a luat cele două lăzi care conţineau electrometrele Kohlrausch şi a făcut semn mexicanilor să ia restul. Şi s-a pornit o procesiune avînd în frunte un *americano distinguido* (un distins american) mergînd uşurel pe peron şi ducînd cu sine două lăzi cu instrumente, urmat de un şir de mexicani ce cărau, doi cîte doi, cîte o ladă încovoindu-se sub greutatea ei. Dar aventura nu avea să se termine aici. Cînd camionul în care se afla Compton şi lăzile lui cu instrumente a ajuns la porţile mănăstirii, a fost oprit de doi soldaţi mexicani care au cerut să inspecteze bagajele. Motivul era că în acea vreme statul mexican era angajat într-o mare dispută cu biserica catolică şi de aceea în jurul tuturor instituţiilor

catolice erau plasate santinele. Deschizînd cutiile, soldaţii au găsit „patru bombe negre şi o mare cantitate de plumb" care, probabil, avea să fie folosit pentru a se face gloanţe. Compton a fost arestat şi a trebuit să aştepte cîteva ore în localul poliţiei pînă cînd, după o lungă discuţie telefonică cu Ambasada americană din Mexico-City, s-au lămurit lucrurile. Măsurătorile de intensitate a radiaţiilor cosmice în regiunea mănăstirii au dat exact rezultatele aşteptate.

Dar să ne întoarcem la efectul Compton. Fiind un experimentator tenace, lui Compton îi plăcea să-şi imagineze ciocnirile dintre cuantele de lumină şi electroni la fel ca cele dintre bilele de fildeş pe masa de biliard, cu deosebirea că bilele de biliard erau absolut la fel (în afară de culoare), în timp ce cuantele de lumină şi electronii trebuiau să fie considerate ca bile de mase diferite. În ciuda faptului că electronii, care formează sistemul planetar al atomului, sînt legaţi de nucleul central prin forţe de atracţie, Compton afirma că aceşti electroni se vor comporta exact ca şi cînd ar fi complet liberi, dacă cuanta de lumină cu care se ciocnesc ar duce cu sine o cantitate de energie suficient de mare. Să presupunem că o bilă neagră (un electron) se află în repaus pe o masă de biliard, că este legată cu o aţă de un cui bătut în masă şi că un jucător care nu vede aţa încearcă să trimită bila în gaura din colţ, lovind-o cu o bilă albă (o cuantă de lumină). Dacă jucătorul trimite bila albă cu o viteză relativ mică, aţa va rezista ciocnirii şi încercarea nu va avea nici o urmare. Dacă bila albă se mişcă ceva mai repede, aţa se poate rupe, dar aceasta va produce o perturbare destul de mare ca să trimită bila neagră într-o direcţie complet greşită. Dacă totuşi energia cinetică a bilei albe depăşeşte cu mult rezistenţa aţei care reţine bila neagră, prezenţa aţei, practic, nu va conta şi rezultatul ciocnirii între cele două bile va fi acelaşi ca în cazul în care bila neagră nu ar fi deloc legată.

Compton ştia că energia de legătură a electronilor exteriori ai unui atom este comparabilă cu energia cuantelor de lumină vizibilă şi pentru a face ca ciocnirea să fie mult mai puternică, el a ales pentru experienţele sale cuantele mult mai energice ale radiaţiilor X de frecvenţă mare. Rezultatul ciocnirii cuantelor de radiaţii X cu electronii (practic) liberi poate fi, desigur, considerat la fel ca şi ciocnirea dintre două bile

de biliard. În cazul ciocnirilor aproape centrale, bila care stă pe loc (electronul) va fi azvîrlită, cu viteză mare, în direcţia ciocnirii, în timp ce bila incidentă (cuanta de radiaţie X) va pierde o mare cantitate de energie. În cazul ciocnirii periferice, bila incidentă va pierde mai puţină energie şi va suferi o deviere mai mică de la traiectoria iniţială. În cazul unei simple atingeri, bila incidentă va trece, practic, fără a fi abătută şi va pierde numai o mică fracţiune din energia ei iniţială. În limbajul cuantelor de lumină, această comportare înseamnă că, în procesul de împrăştiere, *cuantele de radiaţii X deviate cu un unghi mare au o cantitate de energie mai mică şi, în consecinţă, o lungime de undă mai mare*. Experienţele efectuate de Compton au confirmat, în fiecare detaliu, aşteptările teoretice şi în felul acesta au adăugat un nou suport ipotezei asupra naturii cuantice a energiei radiante.

ATOMUL LUI BOHR

În anul 1911 a sosit la Manchester un tînăr fizician danez (avea pe atunci 25 de ani), pe care îl chema Niels Bohr (fig. VII-9).

În timpul studiilor la Universitatea din Copenhaga, el a aplicat experienţa sa de binecunoscut jucător al echipei naţionale de fotbal, la problema „împrăştierii" particulelor alfa de către o mulţime de atomi care încearcă să le reţină şi să le oprească. Cam pe atunci, Rutherford tocmai începuse să efectueze epocalele sale experienţe care au avut ca urmare descoperirea nucleului atomic.

Lui Bohr i-au plăcut ideile lui Rutherford, iar acesta, la rîndul lui, îi spusese unui prieten: „acest tînăr danez este cel mai inteligent băiat pe care l-am întîlnit vreodată". Astfel, ei au devenit prieteni şi au rămas nedespărţiţi pentru totdeauna.

Ca să-l descrii pe Niels Bohr unei persoane care nu a lucrat niciodată cu el, e practic, imposibil. Probabil că cea mai caracteristică trăsătură a lui era încetineala cu care gîndea şi înţelegea. Cînd, prin anii douăzeci şi ceva şi începutul anilor treizeci, autorul acestei cărţi era considerat unul dintre „băieţii lui Bohr" şi a lucrat la Institutul lui din Copenhaga, avînd o bursă Carlsberg (fiind şi marca celei

mai bune beri din lume!), el a avut nenumărate ocazii să-l observe.

În fiecare seară cînd cei cîţiva studenţi ai săi „lucrau" în Paa Blegdamsvejen Institute, discutînd ultimele probleme ale teoriei cuantelor sau jucînd ping-pong pe masa din bibliotecă, pe care mai erau puse şi nişte ceşti de cafea pentru a face jocul mai dificil, îşi făcea apariţia şi Bohr, plîngîndu-se că e foarte obosit şi că i-ar plăcea să „facă ceva". A „face ceva" însemna, fără discuţie, să meargă la cinema şi singurele filme care-i plăceau lui Bohr erau cele ale căror titluri sunau cam aşa: *Lupta de la Lazy Gee Ranch*, sau *Vagabondul singuratic şi fata de sioux*. Însă era dificil să-l însoţeşti pe Bohr la cinema. Neputînd să urmărească subiectul, întreba într-una, spre marea nemulţumire a celorlalţi spectatori. Întrebările lui sunau cam aşa:

„Aceasta este sora acelui *cowboy* care l-a împuşcat pe indianul care a încercat să fure o cireadă de vite ce aparţinea cumnatului ei?" Aceleaşi reacţii încete ieşeau în evidenţă şi la întîlnirile ştiinţifice. De multe ori, cîte un tînăr fizician venit în vizită (cei mai mulţi dintre vizitatori erau tineri) voia să facă o expunere strălucitoare asupra ultimelor lui calcule referitoare la vreo problemă complicată de teorie cuantică. Oricare din asistenţă înţelegea demonstraţia destul de bine în afară de Bohr. Şi, astfel, fiecare începea să-i explice lui Bohr punctul simplu care îi scăpase, dar în hărmălaia care se producea nimeni nu mai înţelegea nimic. În cele din urmă — dar după un timp destul de lung — Bohr începea să înţeleagă şi abia atunci ne dădeam seama că ceea ce înţelesese el în legătură cu problema prezentată de vizitator era cu totul diferit de cele ce vrusese să spună acesta, şi că aşa era corect, în timp ce interpretarea vizitatorului era greşită.

Preferinţa lui Bohr pentru filmele western a dat naştere unei teorii cunoscute doar de cei ce-l însoţeau la film pe atunci. Oricine ştia că, în filmele western (sau cel puţin în cele de tip Hollywood), banditul atacă întotdeauna primul, dar că eroul este mai iute şi-l împuşcă întotdeauna pe bandit. Bohr atribuia acest fenomen diferenţei dintre acţiunile premeditate şi condiţionate. Banditul trebuie să se hotărască cînd să ia arma, ceea ce-i încetineşte acţiunile, în timp ce eroul acţionează mai repede, deoarece nu mai stă pe gînduri cînd vede că banditul a pus mîna pe armă. Noi toţi eram

împotriva unei astfel de teorii şi,în dimineaţa următoare, autorul acestor rînduri s-a dus la un magazin cu jucării de copii şi a cumpărat o pereche de pistoale de *cowboy*. Am tras cu ele împreună cu Bohr, el jucînd rolul eroului şi ucigîndu-ne pe toţi.

Alt exemplu al încetinelii cu care gîndea Bohr era ilustrat de lipsa lui de abilitate în a găsi o soluţie rapidă într-un joc de cuvinte încrucişate. Într-o seară, autorul acestei cărţi i-a făcut o vizită lui Bohr la casa lui de la ţară, din Tisvileleje (Jutlanda de Nord), unde Bohr lucra cît era ziua de mare cu asistentul său, Leon Rosenfeld (din Belgia), la o lucrare importantă referitoare la relaţiile de incertitudine (vezi mai departe) pentru cîmpul electromagnetic. Atît Bohr, cît şi Rosenfeld erau complet epuizaţi din cauza lucrului de peste zi, şi, după cină, Bohr a propus, „pentru relaxare", să dezlegăm un joc de cuvinte încrucişate dintr-o revistă englezească. Dar treaba nu mergea prea bine şi cam peste o oră, Fru Bohr (în daneză *Fru* înseamnă doamnă) ne-a propus să mergem la culcare. În timpul nopţii, nu ştiu pe la ce oră, Rosenfeld şi cu mine — care ocupam împreună o cameră de oaspeţi de la etaj — am fost treziţi de o bătaie în uşă. Am sărit din pat şi am întrebat prin întuneric: „Ce e? Ce s-a întîmplat?" Din partea cealaltă a uşii am auzit o voce şoptită: „Eu sînt, Bohr. Nu am intenţia să vă deranjez, dar aş vrea să ştiu ce oraş industrial din Anglia este compus din şapte litere şi se termină în *ich*, e cumva Ipswich?"

„Nu am intenţia să... dar..." era expresia favorită a lui Bohr şi de multe ori, plimbîndu-se cu o revistă deschisă în mînă, spunea: „Nu am intenţia să critic, dar aş vrea să înţeleg cum poate un om să scrie o astfel de prostie!".

Încă o întîmplare cu Niels Bohr înainte de a trece la teoria lui asupra atomului. O dată, noaptea tîrziu (cam pe la 11 seara, după ora locală din Copenhaga), autorul împreună cu Bohr, Fru Bohr şi cu un fizician danez, Cas Casimir, se întorceau de la o cină dată de unul dintre membrii Institutului Bohr. Cas era expert în „zboruri umane" (în germană, *fasadenkläterer*) şi adesea putea fi văzut în biblioteca institutului stînd îndoit sub tavan, cu o carte în mînă şi cu picioarele întinse de-a lungul ultimului raft cu cărţi, de sus. Ne plimbam de-a lungul unei străzi pustii şi am trecut pe lîngă clădirea unei bănci. Faţada băncii, formată

din blocuri mari de ciment, avînd între ele ceea ce alpiniştii numesc sprijin pentru picioare, i-a atras atenţia lui Casimir care a şi urcat cam pînă la etajul al doilea. Cînd Casimir a venit jos, a vrut să încerce şi Bohr şi a început să urce încet pe peretele băncii. De jos, Fru Bohr, Casimir şi cu mine urmăream cu îngrijorare lenta înaintare a lui Bohr pe perete. În acel moment, doi poliţişti din Copenhaga, care îşi făceau rondul de noapte, s-au apropiat repede din spate, gata să acţioneze. S-au uitat la Bohr, care se afla pe undeva, între primul şi al doilea etaj, şi unul dintre ei a spus: „Oh, dar este doar profesorul Bohr!" şi, liniştiţi, cei doi păzitori ai legii şi ordinii au plecat mai departe.

După aceste observaţii preliminare să discutăm teoria lui Bohr asupra atomului — publicată în 1913 — bazată pe descoperirea lui Rutherford că atomii au un nucleu masiv încărcat pozitiv, cu un roi de electroni ce se rotesc în jurul lui, asemănător unui sistem planetar foarte mic. Prima dificultate pe care a întîmpinat-o Bohr în legătură cu această imagine a fost că atomii nu pot exista mai mult decît o infimă fracţiune dintr-o secundă. Desigur, un electron care aleargă pe o orbită este echivalent cu un oscilator electric şi este determinat să emită unde electromagnetice, pierzîndu-şi foarte repede energia. Prin urmare a fost uşor să se calculeze că electronii atomici se vor mişca pe o traiectorie în spirală şi că vor cădea pe nucleu cam în a suta milioana parte dintr-o secundă. Şi, desigur, nu se întîmplă aşa, deoarece atomii sînt configuraţii foarte stabile. Situaţia era tot atît de paradoxală ca şi catastrofa ultravioletă a lui Jeans, iar Bohr credea că soluţia ieşirii din dificultate trebuia căutată pe aceeaşi cale. Dacă energia radiantă poate exista numai în anumite cantităţi minime sau în multiplii ai acesteia, de ce să nu se facă aceeaşi presupunere în ceea ce priveşte energia cinetică a electronilor care circulă în jurul nucleului? În acest caz, mişcarea electronilor în starea normală a atomului ar corespunde acestei cantităţi minime de energie, în timp ce stările excitate ar corespunde unui număr mai mare al acestor cuante de energie cinetică. Astfel, un mecanism atomic s-ar comporta la fel ca şi cutia de viteze a unui automobil; ea poate să se afle în viteza întîi, în a doua, sau în cea de a treia, dar nu şi undeva între ele.

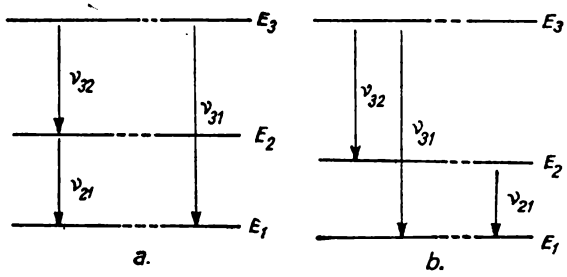


FIG. VII—12 Ilustrația principiului lui Rydberg: *a* — dacă un electron sare de la nivelul E_3 la nivelul E_2, emițînd frecvența ν_{32}, și apoi din nou sare de la E_2 la E_1, emițînd frecvența ν_{21}, ar fi posibilă, de asemenea, și tranziția directă de la E_3 la E_1 prin emiterea frecvenței $\nu_{31} = \nu_{32} + \nu_{21}$; *b* — dacă un electron poate sări de la E_3 fie la E_2, emițînd frecvența ν_{32}, fie la E_1 emițînd frecvența ν_{31}, ar fi, de asemenea, posibilă și tranziția de la E_2 la E_1 cu frecvența $\nu_{21} = \nu_{31} - \nu_{32}$.

Dacă mișcarea electronilor atomici și emisia luminii sînt ambele cuantificate, atunci tranziția unui electron de la un nivel cuantic înalt la unul mai scăzut, în interiorul atomului, trebuie să ducă la emisia unei cuante de lumină $h\nu$ egală cu diferența de energie dintre cele două nivele. Invers, dacă $h\nu$ a unei cuante incidente de lumină este egală cu diferența dintre starea fundamentală și cea excitată dintr-un anumit atom, cuanta de lumină va fi absorbită și electronul se va deplasa de pe nivelul de jos pe cel de mai sus. Aceste procese de schimb de energie între materie și radiație sînt reprezentate schematic în fig. VII-12 *a,b*, ele ducînd la o concluzie foarte importantă. Dacă o cuantă de lumină cu energia $h\nu_{32}$ poate fi emisă la tranziția unui electron de la starea de energie E_3 la starea de energie E_2 și dacă la tranziția de la E_2 la E_1 rezultă o emisie de cuante de lumină cu energia $h\nu_{21}$, atunci am putea observa, cel puțin în anumite cazuri, o cuantă de lumină cu energia $h\nu_{32} + h\nu_{21} = h(\nu_{32} + \nu_{21})$, corespunzătoare unei tranziții directe de la E_3 la E_1. În mod similar, emisia cuantei de lumină cu energiile $h\nu_{31}$ și $h\nu_{32}$ ar conduce la posibilitatea așteptată de a emite lumină cu cuanta de lumină de $h\nu_{31} - h\nu_{32} = h(\nu_{31} - \nu_{32})$. Lăsîndu-l la o parte pe h, putem spune că dacă

două frecvenţe oarecare emise sînt observate în spectrul unui anumit atom, atunci e de aşteptat să găsim şi „suma, şi diferenţa lor". Dar, acesta este chiar aşa-numitul „principiu de combinare al lui Rydberg", descoperit empiric de spectroscopistul german cu acelaşi nume, cu mult înainte de apariţia teoriei cuantice.

Toate aceste fapte descrise mai înainte nu lasă nici o îndoială că concepţia fundamentală a lui Bohr asupra cuantificării energiei cinetice a fost corectă şi că nu rămîne decît să se găsească regulile de cuantificare. Pentru a face acest lucru, Bohr a luat cazul celui mai simplu atom, cel de hidrogen, care, conform unor discuţii anterioare, constă dintr-un nucleu şi un singur electron ce se roteşte în jurul nucleului, acesta avînd o singură sarcină pozitivă, protonul, cum îl numim noi astăzi. Spectrul vizibil al hidrogenului constă din patru linii: una roşie, una albastră şi două violete, însă studiul ultravioletului a dezvăluit un număr mare de linii cu lungimi de undă mai scurte. Acest spectru este prezentat în planşa II, unde liniile spectrale sînt aranjate în ordinea crescătoare a frecvenţelor de oscilaţie. Astfel de secvenţe de linii, care se îngrămădesc din ce în ce mai mult şi se apropie de o limită bine definită în domeniul frecvenţelor mari, se cunosc în spectroscopie sub numele de *serii*, iar seriile hidrogenului sînt cele mai caracteristice şi mai regulate dintre toate. În anul 1885, un profesor de şcoală germană, J.J. Balmer, a descoperit că liniile din spectrul hidrogenului (cunoscute acum sub numele de „seria Balmer") pot fi exprimate printr-o formulă foarte simplă:

$$\nu = R\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}\right),$$

unde R este o constantă numerică, iar n ia valorile 3, 4, 5, 6 etc. (se părea că n nu poate fi 1 sau 2, deoarece, în acest caz, ν ar fi fost negativ sau zero).

Înmulţind această formulă cu h, pentru a obţine în stînga energia cuantei de lumină emise, obţinem:

$$h\,\nu = R\,h\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}\right),$$

care a fost rescrisă de Bohr astfel:

$$h\nu = R\,h\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right).$$

Dintr-o discuţie anterioară rezultă că $-\frac{Rh}{n^2}$ ar reprezenta nivelele de energie ale electronului în atomul de hidrogen, între care au loc tranziţii ce duc la emisia liniilor lui Balmer. Am scris „minus" în faţa ambelor cantităţi, deoarece energia orbitală a electronilor într-un atom este negativă, ceea ce înseamnă, simplu, că energia lor cinetică este mai mică decît energia lor potenţială din cîmpul electric, aşa încît ei să nu poată ieşi afară. Ce fel de mişcare în jurul nucleului ar corespunde acestor valori ale energiei?

Cea mai simplă cale ca să răspundem la această problemă ar fi să ne reamintim că energia potenţială a forţelor coulombiene variază invers proporţional cu distanţa faţă de centru. Deoarece termenii formulei lui Balmer variază invers proporţional cu pătratul unor numere întregi n, putem trage concluzia că razele orbitelor cuantice succesive trebuie să crească cu n^2. În cazul orbitelor circulare, discutate prima dată de Bohr, mărimile lor relative sînt arătate în fig. VII-13. Tranziţiile electronului pe a doua orbită, de pe orbitele situate deasupra ei, corespund liniilor seriei Balmer, dar ce ar mai fi de spus asupra altor posibilităţi? Tranziţiile de pe orbitele numerotate 2, 3, 4, etc., pe prima orbită trebuie să formeze o serie de linii similare cu seria Balmer, dar situate în ultravioletul îndepărtat al spectrului. Pe de altă parte, tranziţiile de pe orbitele mai înalte, pe cea de a treia orbită, trebuie să dea o serie în infraroşul îndepărtat. Ambele serii au fost descoperite de spectroscopiştii Theodore Lyman şi Friedrich Paschen şi existenţa lor a adus un puternic sprijin teoriei lui Bohr asupra salturilor electronilor.

Ştiind că razele orbitelor cuantice (presupunînd că ar fi cercuri) cresc ca pătratele unor numere întregi, Bohr a putut afla care dintre mărimile mecanice este „cuantificată", adică creşte cu aceeaşi cantitate de la o orbită la alta. Ea s-a dovedit a fi produsul dintre impulsul mecanic al electronului şi lungimea orbitei lui, mărime care în mecanica clasică este cunoscută sub numele de „acţiune". Şi variaţia

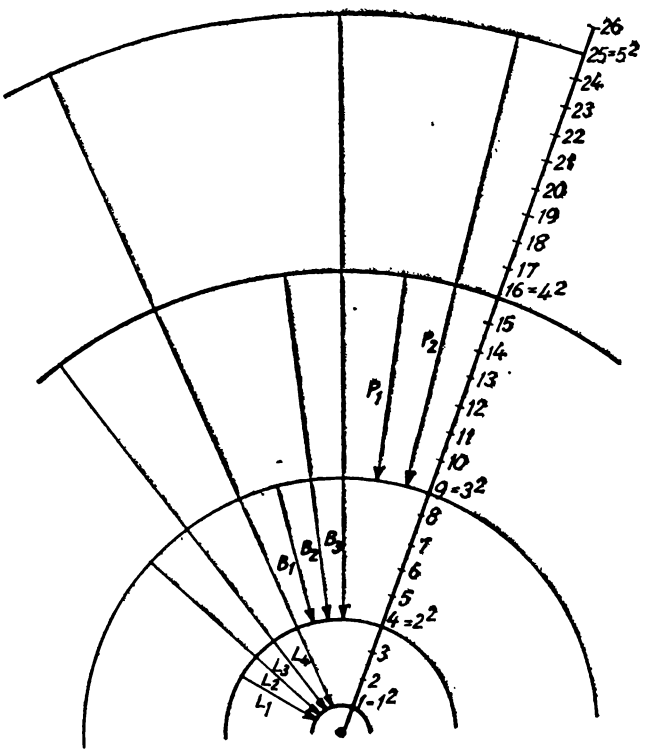


FIG. VII—13 Primele patru orbite circulare din modelul lui Bohr al atomului de hidrogen cu razele crescînd ca pătratele unor numere întregi. Tranziţiile L_1, L_2, L_3, L_4..., la prima orbită, dau naştere liniilor seriei lui Lyman. Tranziţiile B_1, B_2, B_3... şi P_1, P_2,..., la a doua şi a treia orbită, dau naştere liniilor din seriile lui Balmer şi Paschen. Raza primei orbite cuantice este egală cu x 10—cm.

„acţiunii" de la o orbită cuantică la alta era exact egală cu constanta h utilizată de Planck în teoria sa asupra radiaţiei termice, şi de către Einstein în explicaţia pe care a dat-o efectului fotoelectric.

La puţin timp după asta a devenit clar că modelul iniţial al lui Bohr cu orbite cuantice circulare concentrice trebuia să fie generalizat prin adăugarea unor elipse cuantificate.

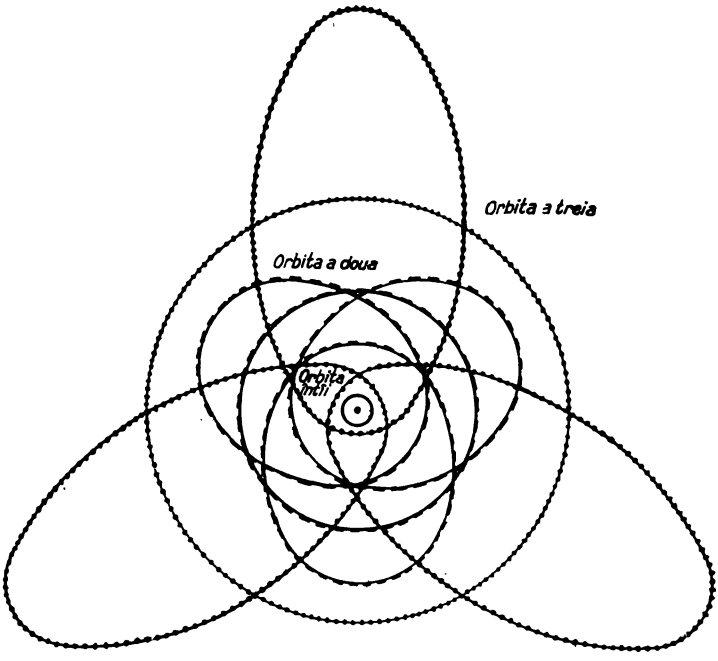


FIG. VII—14 Orbite cuantice circulare şi eliptice în atomul de hidrogen. Prima orbită circulară *(linia plină)* corespunde celei mai mici energii a electronului. Următoarele patru orbite, una circulară şi trei eliptice *(linii întrerupte)*, corespund aceleiaşi energii (mai mare decît energia primei orbite). Următoarele nouă orbite *(linii punctate)* — numai patru dintre ele sînt arătate pe figură — corespund unor energii şi mai mari (acelaşi lucru pentru toate cele nouă orbite).

Această generalizare a fost făcută de fizicianul german Arnold Sommerfeld. În fig. VII-14 este arătat un set complet de orbite cuantice posibile ale electronului în atomul de hidrogen. Prima orbită circulară *(linia plină)*, rămîne intactă. La a doua orbită circulară *(linii întrerupte)* Sommerfeld a adăugat încă trei orbite eliptice, pe care electronul în mişcare ar fi avut aceeaşi energie ca şi pe orbita circulară. La a treia orbită circulară erau adăugate opt orbite eliptice (numai trei dintre ele sînt desenate pe figură) şi toate corespund aceleiaşi energii ca şi orbita circulară. Iar

mai departe erau din ce în ce mai multe orbite eliptice adăugate la orbitele circulare de ordin mai înalt. Situaţia a devenit din ce în ce mai complicată, însă ceea ce e demn de remarcat, ea se potrivea din ce în ce mai bine cu faptele observate. Atomul nu mai semăna cu un sistem planetar, în care Jupiter putea sări dintr-o dată pe orbita lui Venus, ci era descris într-un mod mult mai abstract şi numai pe departe legat de cercurile şi elipsele mecanicii clasice.

În prima decadă a dezvoltării sale, teoria lui Bohr a avut un succes teribil în explicarea proprietăţilor atomilor complecşi, spectrului lor optic, interacţiunilor chimice etc. Însă, cu toate succesele înregistrate, teoria şi-a păstrat scheletul iniţial şi toate încercările de a descrie mai complet tranziţiile electronilor de la o stare de energie la alta şi de a calcula intensităţile liniilor spectrale emise ca rezultat al acestor tranziţii nu au dus la nimic. Situaţia este foarte bine caracterizată în versurile scrise pe la începutul anilor douăzeci de către fizicianul teoretician rus Vladimir A. Fock, pe care le reproducem în traducere liberă:

ÎNURARE LUI NIELS BOHR*

Umpleţi cupele şi aprindeţi focul,
Să bem în cinstea lui, eroul nostru
Şi ciupind corzile bătrînei noastre lire,
Să cîntăm pe-al nostru idol Bohr!
Să-i urăm să aibă parte de zile înfloritoare
De cinste şi onoare.
Bohr, colosule, deşi ne sperii, noi te adorăm.

Căci meritele tale-s fără număr,
Şi chiar de-i teoria ta obscură
O apărăm c-ai formulat-o tu.
Şi tot ce spui n-are cusur şi-i pur.
O, Niels, tu eşti Apolo,
Umili noi te urmăm;
Iar legile ce-ai inventat sînt pentru veşnicie.

* Redat în versiune englezească de B.P.G. din versiunea rusă nepublicată, compusă de V.A. Fock la începutul anului 1920.

Mecanica ţi-e slugă şi te-ascultă,
Principiile ei nu mai pot exista
Fără-ncuviinţarea ta. Iar dacă tu socoţi că-i bine,
Chiar legea conservării energiei o vom înlătura
Căci de pe tronul unde stai
Cu tot dispreţul poţi ca să condamni
Mişcarea cea continuă, balaurul ce trebuie ucis.

Chiar legea cauzalităţii, tremură de frică
Şi-ţi caută favoarea, căci cine ar putea şti
Dacă cumva în iad nu se va prăbuşi,
De vrei, aşa să fie şi aşa vei hotărî.
Apoi chiar bîjbîielile celor mărunţi
Asupra celor 92 corpuri doar tu le lămureşti.
Discuţia enciclopedică şi prea plictisitoare
Asupra divergenţei seriilor tu singur reuşeşti s-o risipeşti

Şi cuantele ce-adînc te mai respectă. Iar cînd rosteşti ce hotărăşti
Chiar electronul cel mai mic îşi cîntăreşte trista soartă
Şi, limitat la cercul lui, se mişcă agitat,
Apoi, cînd sare, radiază
Şi mişcarea lui evoluează.
Şi-apoi, [visînd conceptul,
De frică-ncurcă] cauza cu efectul
Şi sare] de pe orbita lui maternă
Direct pe alta mai puţin eternă
Căutînd zadarnic refugiul lui în zbor.

Te venerează popor lîngă popor
Şi toţi îţi strigă: Slavă lui Niels Bohr!
Tu eşti stăpînul care ne conduce
Deşi înnebuniţi pe jumătate de afirmaţiile tale
Criptice şi mîndre, |
Oricine îţi rămîne credincios
Şi nu te huiduieşte-nghiţindu-ţi teoriile frumos,
Chiar dacă nimeni nu-nţelege
Nici un cuvînt din cîte-ai spus.
Ciocniţi, şi-n cinstea lui să bem!
În cinstea lui să toastăm".

După ce am discutat mişcarea unui singur electron în atomul de hidrogen, să ne întoarcem la problema a ceea ce se întîmplă în cazul atomilor care conţin 2,3,4 şi mai mulţi electroni. Pentru nucleele care au o sarcină electrică mai mare, schema generală a orbitelor cuantice rămîne aceeaşi, ca şi în cazul atomilor de hidrogen, exceptînd faptul că forţele de atracţie exercitate de nucleu sînt mai mari, iar diametrele tuturor orbitelor sînt din ce în ce mai înguste, pe măsură ce ne îndreptăm spre elemente cu numere atomice din ce în ce mai mari.

Cît de mare este numărul electronilor, în atomii elementelor grele, situaţi pe aceste orbite cuantice îngustate? În termenii fizicii clasice răspunsul la această întrebare ar fi aproape banal. Cel mai stabil dintre toate sistemele mecanice este acela în care sistemul nu poate pierde nici un fel de energie printr-un salt pe un nivel energetic mai jos. Astfel, se aşteaptă ca toţi electronii suplimentari din atomii grei să cadă pe prima orbită cuantică şi să joace „cercul în jurul trandafirului" sau mai exact, „cercul în jurul nucleului". Şi cum ştim că diametrul unui astfel de cerc devine mai mic în nucleele grele, putem prevedea că el va deveni din ce în ce mai compact acoperit cu electroni. De fapt, nu se întîmplă aşa; indiferent de sarcina nucleului, mărimea totală a atomilor rămîne aproximativ aceeaşi.

Această problemă a atras atenţia fizicianului german Wolfgang Pauli (fig. VII—15), a cărui figură jovială şi corpolentă erau familiare, fiind întotdeauna binevenit în Institutul de fizică teoretică al lui Bohr.

Pauli era un fizician teoretician de prima clasă, şi printre prietenii săi numele îi era asociat cu misteriosul fenomen cunoscut sub numele de efectul Pauli. Este binecunoscut faptul că toţi fizicienii teoreticieni sînt foarte stîngaci în manipularea echipamentului experimental şi că adesea numai printr-o simplă atingere strică aparate greu de construit şi costisitoare. Pauli a fost un astfel de bun fizician, care făcea ca lucrurile să se strice chiar şi numai dacă se plimba printr-un laborator. Cel mai convingător caz de efect Pauli a avut loc într-o zi cînd echipamentul din laboratorul

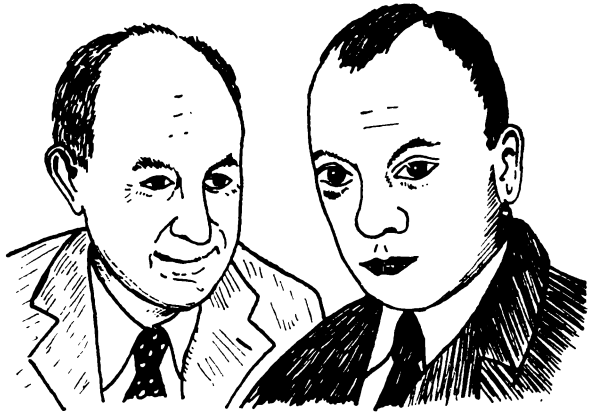


FIG. VII—15 Enrico Fermi *(stînga)* şi Wolfgang Pauli.

profesorului James Frank de la Institutul de fizică al Universităţii din Gőttingen a făcut explozie, pe neaşteptate, transformîndu-se în ţăndări, aparent fără nici un motiv. Cercetările ulterioare au arătat că această catastrofă a avut loc exact în momentul cînd trenul care îl transporta pe Pauli de la Zűrich la Copenhaga s-a oprit pentru cinci minute în gara din Gőttingen!

Meditînd asupra mişcării electronilor dintr-un atom, Pauli şi-a formulat principiul, acum de mare faimă (denumit chiar de el „principiu de excluziune"), după care fiecare orbită poate purta cel mult doi electroni. Principiul susţine că dacă cele două locuri libere sînt ocupate, următorii electroni trebuie să se aşeze pe alte orbite. Cînd toate orbitele de pe o pătură dată s-au umplut, încep să se umple orbitele de pe pătura următoare (corespunzătoare unui nivel de energie mai mare).

Pe măsură ce trecem la atomi din ce în ce mai grei, conform şirului natural al elementelor, razele orbitelor cuantice se micşorează din cauza creşterii sarcinii nucleului însă, pe de altă parte, din ce în ce mai multe orbite sînt ocupate de electroni. În felul acesta, mărimea atomilor rămîne, în medie, aceeaşi de la elementele cele mai uşoare la cele mai

grele. Există totuşi mici variaţii ale dimensiunilor atomice, dacă trecem de la o pătură completă la alta (configuraţii de gaze nobile). Aceasta duce la mici schimbări periodice de densitate ale diverselor elemente, care merg paralel cu schimbările periodice ale proprietăţilor lor chimice.

Păturile electronice ale tuturor speciilor de atomi din sistemul periodic sînt umplute în concordanţă cu această ierarhie fixă a stărilor de energie. Prima pătură, care reprezintă starea de energie cea mai joasă, se umple prima. La atomul de heliu, această pătură va fi umplută complet cu cei doi electroni care aleargă unul după altul de-a lungul primei orbite cuantice. Următorul element, litiul, are trei electroni; unul dintre ei, conform principiului de excluziune, trebuie să treacă pe a doua pătură, care constă dintr-o singură orbită circulară şi trei orbite eliptice. Doarece aceste patru orbite pot avea, în total, opt electroni, iar pe orbita din interior se află doi, prima şi a doua pătură, împreună, vor fi umplute la atomul de neon, care are zece electroni. Electronii care se mai adaugă la elementele încă şi mai grele trebuie să se afle în cel de al treilea grup de orbite circulare şi eliptice, şi aşa mai departe. Principiul de excluziune al lui Pauli, explică astfel structura internă a elementelor în funcţie de modul în care sînt umplute păturile electronice consecutive. Principiul subliniază, de asemenea, identitatea externă sau chimică a unui atom ca şi periodicitatea proprietăţilor chimice în şirul speciilor atomice din sistemul periodic al elementelor. Aceste caracteristici sînt determinate de numărul de electroni de pe pătura cea mai dinafară, care intră în contact cînd atomii se ciocnesc unii cu alţii.

Atunci cînd fusese formulat iniţial principiul lui Pauli despre electroni, se credea că nu sînt altceva decît puncte încărcate cu electricitate negativă. Dar curînd după aceasta s-a descoperit că totuşi aceşti electroni trebuie, de asemenea, să fie consideraţi nişte magneţi miniaturali; ei au un moment magnetic, deoarece se învîrtesc în jurul propriei lor axe (ca nişte fuse) în timp ce gravitează în jurul nucleului. După ce am învăţat să considerăm electronii ca pe nişte magneţi în miniatură, trebuie să ţinem seama atît de forţele electrice, care sînt în cea mai mare parte responsabile de

mişcarea lor orbitală, cît şi de forţele magnetice, care apar datorită mişcării de spin* în jurul axei.

Un electron tinde să se rotească în jurul axei proprii în două feluri: fie în direcţia în care se deplasează de-a lungul orbitei, fie în direcţia opusă.

S-a arătat că doi electroni, urmînd aceeaşi orbită, trebuie să se învîrtească în direcţii opuse. Această descoperire ne cere să formulăm principiul lui Pauli într-un mod oarecum diferit. Deoarece electronii care efectuează o mişcare de spin în direcţii opuse dau naştere unor cîmpuri magnetice slabe, care alterează uşor orbitele fiecăruia dintre ei, noi spunem acum că cei doi electroni, care iniţial străbăteau aceeaşi orbită, de fapt urmează două orbite diferite (deşi foarte similare).

De aceea pare mai raţional să privim orbitele permise ca o pereche de orbite foarte apropiate, scindate de slabele interacţiuni magnetice.

Această imagine asupra structurii în pături ne dă o explicaţie simplă a naturii valenţei chimice a diferitelor elemente. Putem arăta, pe baza teoriei cuantice, că atomii care au o pătură aproape completă, au tendinţa să ia electroni exteriori pentru a întregi această pătură, iar atomii care abia au început o nouă pătură de electroni au tendinţa să scape de aceşti electroni exteriori. De exemplu, clorul (numărul atomic 17) are doi electroni pe prima pătură, opt pe a doua şi şapte pe a treia, de pe care ar mai lipsi un electron ca să fie umplută complet. Pe de altă parte, atomul de sodiu (numărul atomic 11) are doi electroni mai puţin pe prima pătură, opt pe a doua şi numai un electron la începutul celei de a treia pături. În aceste condiţii, cînd un atom de clor întîlneşte un atom de sodiu, el „adoptă" electronul singuratic al acestuia de pe pătura exterioară şi devine Cl^-, în timp ce sodiul devine Na^+. Acum cei doi ioni sînt legaţi împreună prin forţe electrostatice şi formează o moleculă stabilă de sare de bucătărie. În mod similar, un atom de oxigen care are doi electroni lipsă pe ultima pătură (numărul atomic $= 8 = 2 + 6$) tinde să adopte doi electroni de la

* Este vorba de o mişcare de rotaţie în jurul unei axe care trece prin el, asemănătoare mişcării de învirtire a fusului (în engleză, *to spin* = a toarce, a răsuci). În continuare vom vorbi de mişcare de spin ori de cîte ori va fi vorba de o astfel de rotire a electronului. -*N.T.*

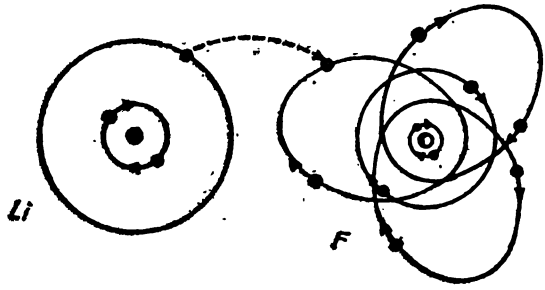


FIG. VII—16 Legătura chimică dintre atomul de litiu (Li) şi atomul de fluor (F) în molecula de fluorură de litiu (LiF). Electronul unic de pe pătura exterioară a atomului de litiu va cădea în locul vacant de pe pătura aproape plină a atomului de fluor.

vreun alt atom şi poate, astfel, să se unească cu doi atomi monovalenţi (H, Na, K etc.,) sau cu un atom bivalent, ca magneziul (numărul atomic = 12 = 2 + 8 + 2), care are doi electroni pe care îi poate împrumuta. Un exemplu de legătură chimică de acest fel este arătat în fig. VII-16. De asemenea, a devenit clar din ce cauză gazele nobile, care au toate păturile completate şi nu au electroni nici de dat, nici de luat, sînt, din punct de vedere chimic, inerte.*

UNDELE DE MATERIE

În anul 1924, un aristocrat francez de 32 de ani, marchizul Louis de Broglie (fig. VII-17), care şi-a început cariera ştiinţifică ca cercetător în istorie medievală şi care abia mai tîrziu a început să arate interes pentru fizica teoretică, a prezentat facultăţii de la Universitatea din Paris o teză de doctorat ce conţinea idei extraordinare. De Broglie credea că mişcarea particulelor materiale este întovărăşită şi condusă de anumite unde pilot, care se propagă prin spaţiu împreună cu particulele. Dacă aşa stau lucrurile, orbitele

* Denumirea de gaze inerte sau nobile a devenit, de altfel, improprie în urma realizării, în ultimii ani, a unor reacţii chimice cu majoritatea elementelor din grupa zero. Aceste reacţii au fost obţinute, în special, cu elementele cele mai active (agresive) din punct de vedere chimic, cum sînt florul şi oxigenul. -*N.T.*

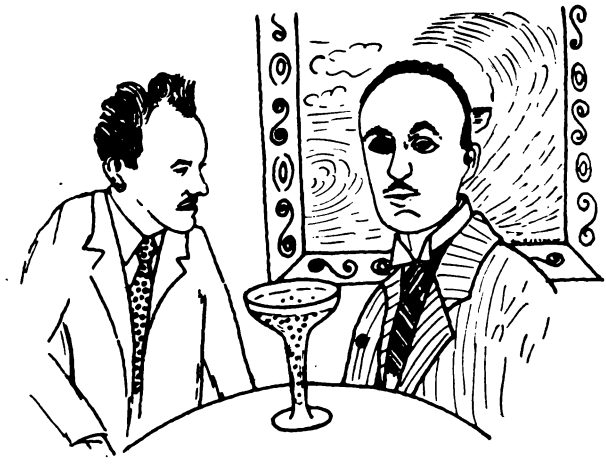


FIG. VII—17 P.A.M. Dirac *(stînga)* şi Louis de Broglie.

cuantice determinate din modelul atomic al lui Bohr ar putea fi interpretate ca orbite care satisfac condiţia ca *lungimea lor să conţină un număr întreg de astfel de unde pilot*; o undă, în prima orbită cuantică, două, în a doua şi aşa mai departe (fig. VII-18). Am văzut mai înainte că, pentru cazul simplu al mişcării circulare, orbitele cuantice ale lui Bohr satisfac condiţia că lungimile lor, înmulţite cu impulsul (masa înmulţită cu viteza) electronului ce se mişcă sînt egale cu h, pentru prima orbită, $2\,h$, pentru a doua, $3h$, pentru a treia etc. Aceste două afirmaţii devin identice, dacă considerăm că lungimea undei pilot este egală cu h împărţit la impulsul particulei:

$$\frac{h}{mv}$$

şi aceasta este şi presupunerea lui Louis de Broglie. Pentru orbitele cu razele intermediare unda pilot care circulă în jur nu se poate „apuca singură de coadă" şi, prin urmare, acest tip de mişcare nu poate exista. Astfel, cu o singură lovitură îndrăzneaţă, de Broglie a schimbat scheletul orbitelor cuantice ale lui Niels Bohr într-o noţiune mai palpa-

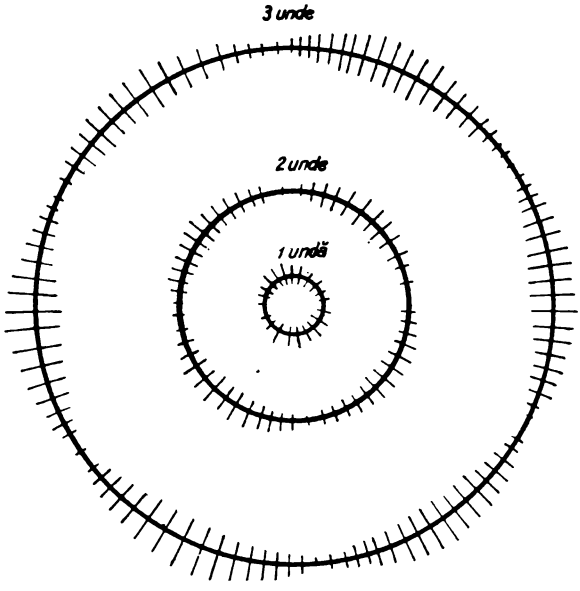


FIG. VII—18 Undele lui de Broglie dezvoltîndu-se de-a lungul orbitelor lui Bohr.

bilă, ca: tuburi de orgă, membrane de tobă etc. Mecanica cuantică a particulelor a căpătat proprietăţi similare undelor acustice sau luminoase.

Dar această propunere revoluţionară trebuia să fie supusă unui test experimental. Dacă în mişcarea lor din interiorul atomului, electronii sînt ghidaţi de unde de Broglie, ei trebuie să prezinte anumite proprietăţi ondulatorii, cînd zboară în linie dreaptă prin spaţiu. Pentru fasciculele de electroni de cîţiva kilovolţi utilizate în laboratoare, era de aşteptat ca lungimea de undă de Broglie să fie de aproximativ 10^{-8}cm, fiind comparabilă cu cea a radiaţiilor X, astfel că s-ar fi putut utiliza tehnica de difracţie cu radiaţii X pentru a verifica dacă există sau nu unde care însoţesc electronii.

În 1927 a fost făcută o experienţă în acest sens de fiul lui Sir J.J. Thomson, George (mai tîrziu Sir George) şi de către fizicienii americani C.J. Davisson şi L.H. Germer, care au îndreptat asupra unui cristal un fascicul de electroni

accelerați într-un cîmp electric. Rezultatul a fost o imagine asemenea celei date în planșa IV, *jos*, arătînd, fără putință de îndoială, că avem de a face aici cu un fenomen ondulatoriu de difracție. Lungimea de undă determinată din diametrul inelelor de difracție coincide exact cu lungimea dată de formula lui de Broglie h/mv și scade sau crește după cum electronii din fascicul sînt accelerați sau încetiniți. Cîțiva ani mai tîrziu, fizicianul german Otto Stern a repetat experiențele lui Davisson și Germer, utilizînd în locul electronilor un fascicul de molecule de hidrogen și atomi de heliu, și a găsit că fenomenul de difracție descris de formula lui de Broglie are loc și în acest caz. Astfel, a devenit absolut sigur că micile particule, ca electronii sau atomii, sînt ghidate în mișcarea lor de „unde pilot" a căror natură era complet necunoscută pe atunci.

Ideile lui de Broglie au fost generalizate și puse pe baze matematice riguroase, în 1926, de către fizicianul austriac Erwin Schrődinger (fig. VII-19), care le-a încorporat în renumita ecuație a lui Schrődinger, aplicabilă la mișcarea particulelor în orice cîmp de forțe. Utilizarea ecuației lui Schrődinger în cazul hidrogenului ca și în cazul atomilor mai complecși reproduce toate rezultatele teoriei orbitelor cuantice ale lui Bohr, și, în plus, tratează și probleme (ca intensitatea liniilor spectrale) pe care vechea teorie nu le abordează. În locul orbitelor cuantice, circulare sau eliptice, interiorul unui atom era descris acum de așa-numitele funcții ψ, corespunzătoare diferitelor tipuri de unde de Broglie, care pot exista în spațiul ce înconjură nucleul atomic.

Simultan cu primul articol al lui Schrődinger, care a fost publicat într-o revistă germană foarte importantă, „Annalen der Physick", într-o altă revistă tot atît de importantă, „Zeitschrift der Physick", a apărut o lucrare asupra teoriei cuantice scrisă de tînărul fizician german (avea pe atunci 24 de ani) Werner Heisenberg (fig. VII-19). Este dificil să se descrie teoria lui Heisenberg în termeni de popularizare. Ideea principală era că mărimile mecanice, ca: poziția, viteza, forța etc., nu ar fi reprezentate prin numere obișnuite, ca 5, sau $7\,{}^{1}/_{2}$, sau $13\,{}^{5}/_{7}$, ci prin structuri matematice abstracte, cunoscute sub numele de „matrice", fiecare matrice fiind un fel de tablou asemănător pătratelor de cuvinte încrucișate, în care se află însă numere obișnuite,

FIG. VII–19 Werner Heisenberg *(stînga)* şi Erwin Schrödinger.

formînd un şir infinit de linii şi coloane. Se pot stabili reguli de adunare, scădere, înmulţire şi împărţire a acestor matrice, care sînt cu totul similare celor din algebra obişnuită, deşi există totuşi o mare deosebire. În algebra matricială, produsul A înmulţit cu B nu este în mod necesar egal cu produsul B înmulţit cu A, de unde rezultă o complexitate mai mare în procedeul de înmulţire a matricelor. Cea mai apropiată analogie este cea cu limbajul uman, în care Douglas Malcom nu este acelaşi lucru cu Malcom Douglas, şi culme netedă (în engleză, *flat top*) nu este totuna cu apartamentul de sus (în engleză *top flat*). Ei bine, Heisenberg a arătat că dacă se consideră că toate mărimile din ecuaţiile mecanicii clasice sînt matrice şi dacă, de asemenea, introducem o condiţie suplimentară că: impulsul $\times$ viteza — viteza $\times$ impulsul $= hi$, unde h este constanta cuantică, iar $i = \sqrt{-1}$, este vechiul nostru prieten, unitatea imaginară, s-ar obţine o teorie care descrie corect toate fenomenele cuantice cunoscute.

Apariţia simultană a celor două lucrări, care ajungeau la acelaşi rezultat prin utilizarea unor metode complet diferite, a adus consternare în lumea fizicienilor, însă la scurtă vreme după aceasta s-a găsit că cele două teorii erau, din

punct de vedere matematic, identice. De fapt, matricele lui Heisenberg reprezintă soluţiile tabelate ale ecuaţiei lui Schrödinger, iar la rezolvarea diferitelor probleme de teorie cuantică se pot utiliza, intermitent, mecanica ondulatorie şi mecanica matricială.

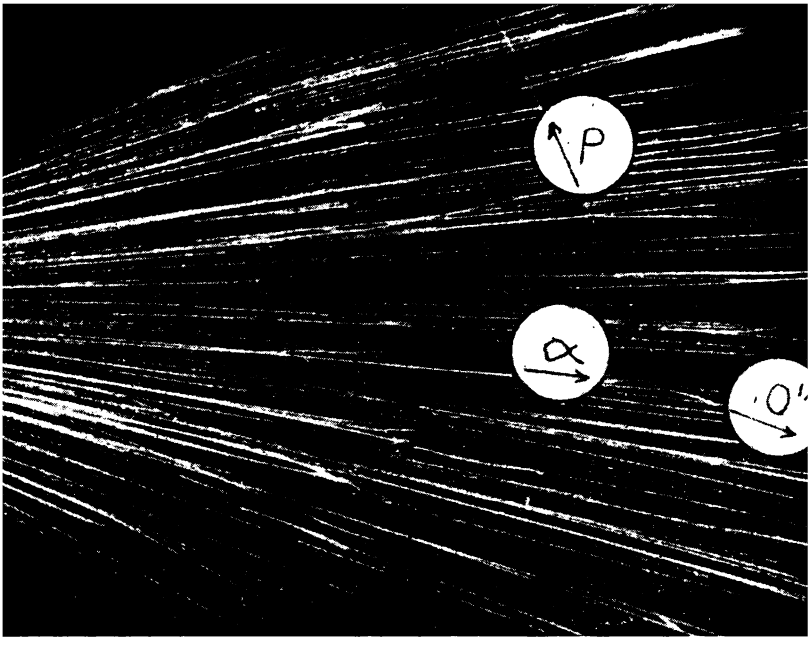
RELAŢIILE DE INCERTITUDINE*

Care este sensul fizic al undelor de Broglie, ce ghidează particulele materiale în mişcarea lor? Sînt ele unde reale, ca undele de lumină, sau numai ficţiuni matematice introduse pentru convenienţă în descrierea fenomenelor fizice din microcosmos? La cîţiva ani după formularea mecanicii ondulatorii, răspunsul la întrebare a fost dat de W. Heisenberg, care s-a întrebat în ce fel legile cuantice, care introduceau o cantitate minimă de energie radiantă şi mecanică, afectează noţiunile de bază ale mecanicii clasice.

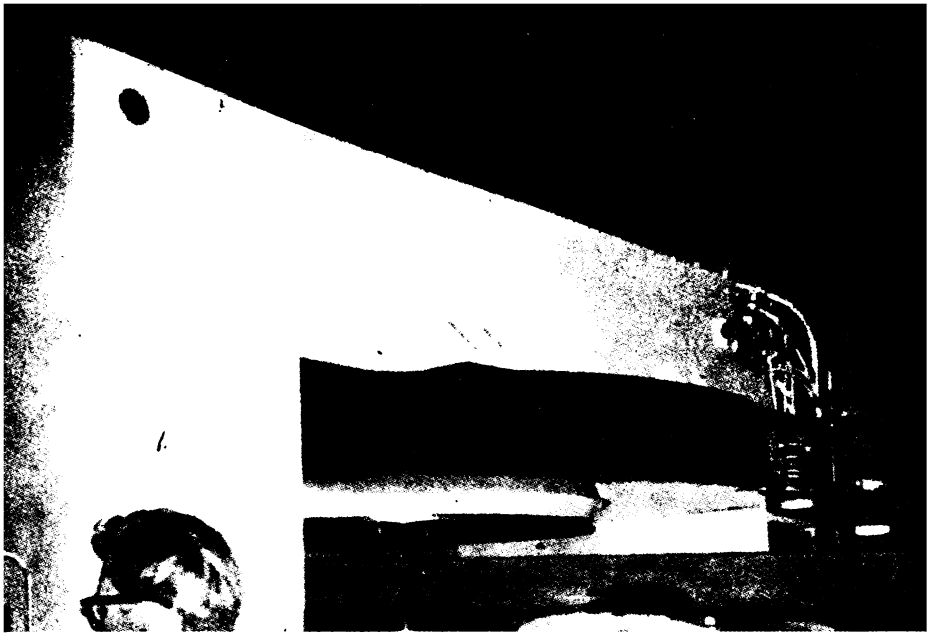
Heisenberg a mers la rădăcina acestei probleme încurcate: încercarea de a aplica legile şi metodele obişnuite observării fenomenelor la scară atomică. În lumea experienţelor zilnice, orice fenomen poate fi observat şi i se pot măsura proprietăţile fără a influenţa în vreun fel oarecare fenomenul studiat. Putem fi siguri, dacă vom încerca să măsurăm temperatura dintr-o ceşcuţă de cafea cu un termometru de baie, că instrumentul va absorbi *destul* de multă căldură de la cafea pentru a-i schimba temperatura în mod substanţial. Însă cu un termometru mic, din cele folosite în laboratoarele de chimie, putem ajunge la un rezultat suficient de corect. Putem măsura temperatura unui obiect, mic cît o celulă vie, cu un termocuplu miniatură, care are o capacitate calorică aproape neglijabilă. Însă în lumea atomică nu putem niciodată neglija perturbarea produsă de introducerea aparatului de măsură.

La această scară, energiile sînt atît de mici, încît chiar şi măsurătoarea cea mai atent executată poate să ducă la perturbări substanţiale ale fenomenului aflat sub observaţie şi nu putem garanta că rezultatele măsurătorilor descriu, de fapt, ceea ce s-ar fi întîmplat în absenţa aparatelor de

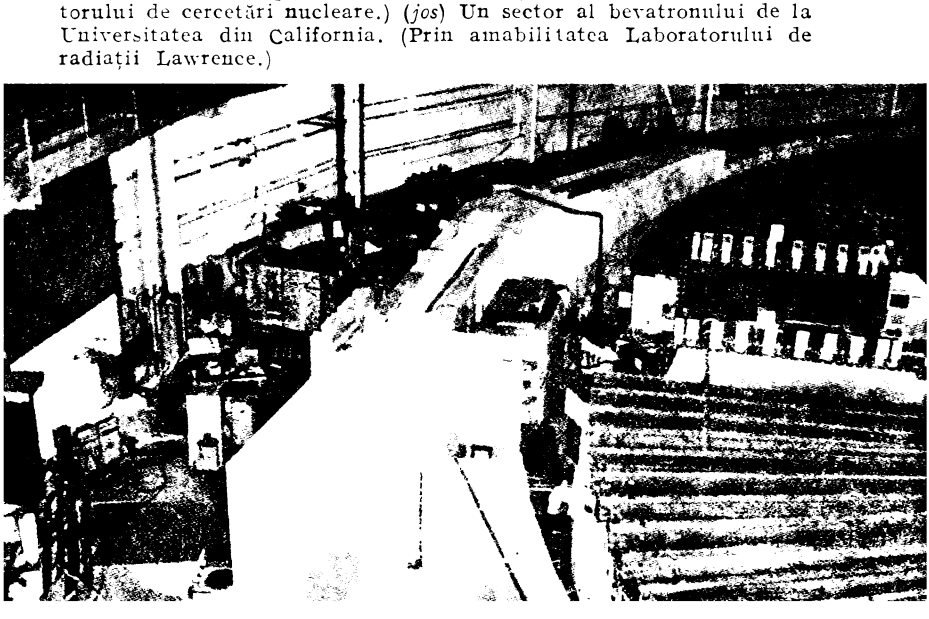
* Acest paragraf urmăreşte îndeaproape articolul autorului, *Principiul de incertitudine*, publicat în numărul din ianuarie 1968 al revistei „Scientific American".

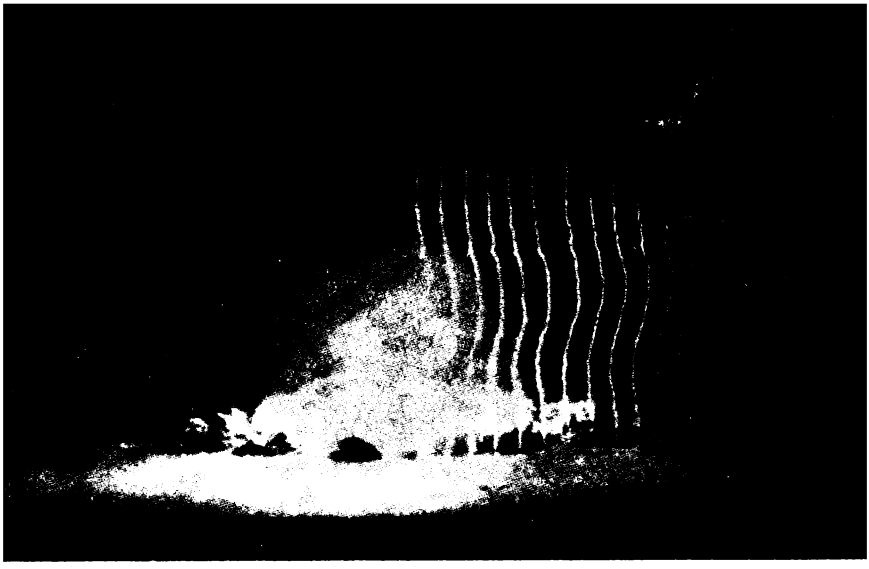


PLANȘA V. (*sus*). Prima fotografie din camera cu ceață, a unei transformări nucleare artificiale. (Prin amabilitatea lui P.M.S. Blackett pe cînd era la Universitatea din Cambridge.); (*jos*) Sfărîmarea nucleului de bor în trei particule alfa. (Prin amabilitatea lui P. Dee și C. Gilbert pe cînd erau la Universitatea din Cambridge.)

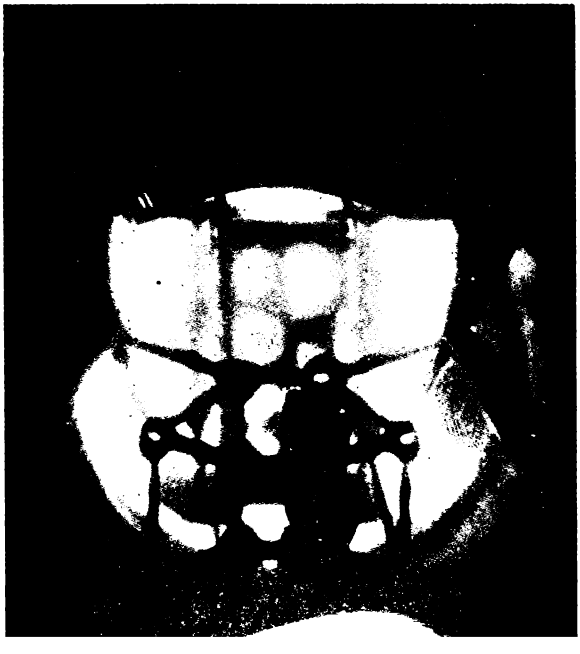


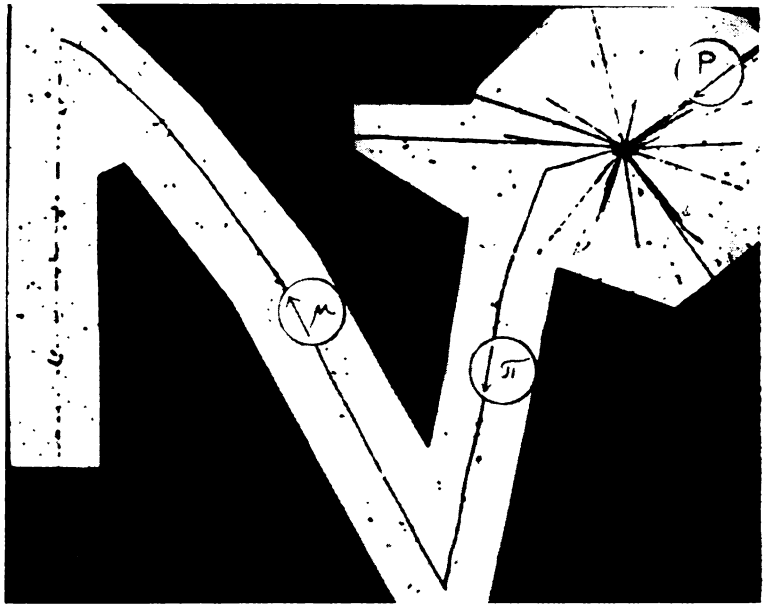
PLANȘA VI. (*sus*) Ciclotronul de la Universitatea din Colorado; se văd polul electromagnetului și fasciculul. (Prin amabilitatea Laboratorului de cercetări nucleare.) (*jos*) Un sector al bevatronului de la Universitatea din California. (Prin amabilitatea Laboratorului de radiații Lawrence.)



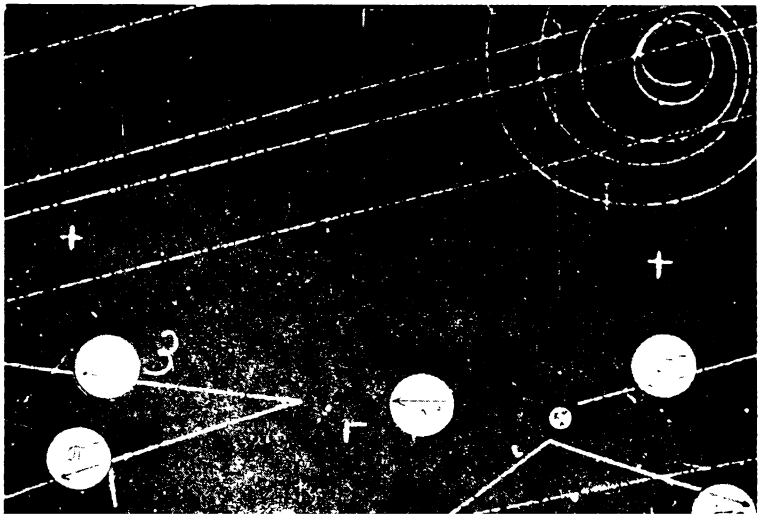


PLANȘA VII. (*sus*). Explozia exprimentală a unei bombe atomice in Nevada. (*jos*) Un reactor piscină de la Oak Ridge. (Prin amabilitatea Comisiei de Energie Atomică.)





PLANȘA VIII. (*sus*) Formarea unui pion și dezintegrarea lui corespunzătoare într-un mezon și un electron în emulsie fotografică groasă. (Prin amabilitatea lui E. Pickup, pe cînd era la Consiliul Național de cercetări al Canadei.) (*jos*) O serie de evenimente nucleare în camera cu bule. (Prin amabilitatea lui L. Alvarez de la Universitatea din California).



măsură. Observatorul şi instrumentele sale devin o parte integrantă a fenomenelor care se cercetează, deşi, în principiu, aici nu este vorba de un fenomen fizic în sine. În toate cazurile are loc o interacţiune absolut inevitabilă între observator şi fenomen.

Heisenberg a ilustrat aceasta prin considerarea, în detaliu, a problemei urmăririi mişcării unei particule materiale. În lumea macroscopică putem urmări zborul unei mingi de ping-pong fără să-i influenţăm traiectoria cu nici o iotă. Ştim că lumina exercită o presiune asupra mingii, dar nu va trebui să jucăm ping-pong într-o cameră, pe întuneric (presupunînd că ar fi imposibil), deoarece presiunea luminii este prea mică pentru a face să apară vreo diferenţă în zborul mingii. Dacă însă în locul mingii de ping-pong punem un electron, lucrurile se schimbă cu totul. Heisenberg a examinat situaţia cu ajutorul unei „experienţe imaginate", metodă de a gîndi utilizată de Einstein în discuţiile sale asupra teoriei relativităţii.

În cazul unui astfel de exerciţiu mintal, experimentatorului îi este permis să aibă un „atelier ideal", în care să-şi poată face orice fel de instrument sau aparat, cu condiţia ca proiectarea şi funcţionarea lui să nu contrazică legile de bază ale fizicii. De exemplu, el ar putea să-şi facă o rachetă care să se mişte aproape cu viteza luminii, dar fără să o depăşească, sau, s-ar putea folosi de o sursă de lumină care ar emite un singur foton, dar nu şi o jumătate de foton. Heisenberg s-a echipat cu o aparatură ideală pentru a observa zborul unui electron (fig. VII-20). El a imaginat un tun de electroni care putea emite un singur electron orizontal într-o cameră complet vidată — fără nici o moleculă de aer! Lumina îi venea de la o sursă ideală, care putea emite fotoni de orice fel de lungime de undă şi în orice număr dorit. Iar el putea să observe mişcarea electronului în cameră printr-un microscop ideal, care putea fi pus la punct şi funcţiona în tot domeniul spectral, de la cele mai lungi unde radio la cele mai scurte radiaţii gamma.

Ce se va întîmpla cînd în cameră se va da drumul unui electron? Conform tratatelor noastre clasice de mecanică, particula va urma o traiectorie cunoscută sub numele de parabolă. Dar dacă în acest moment un foton îl va ciocni, electronul va avea un recul şi îşi va schimba viteza. Obser-

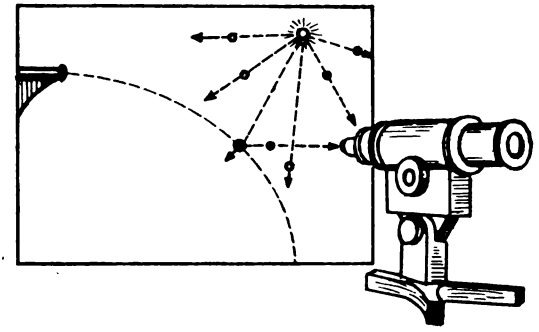


FIG. VII—20 Aparatura ideală a lui Heisenberg pentru observarea traiectoriei unei particule.

vînd particula în puncte succesive în timpul mişcării sale, vom găsi că face nişte drumuri în zigzag, din cauza ciocnirii cu fotonul. Deci, deoarece avem un instrument ideal de flexibil, să zicem că minimalizăm ciocnirea prin reducerea energiei fotonului, ceea ce putem face prin utilizarea luminii de frecvenţă mai mică. De fapt, mergînd la limita frecvenţelor infinit de mici (ceea ce în aparatul nostru este posibil), noi putem face ca perturbaţiile mişcării electronului să fie atît de mici cît dorim. Dar aici intervine o nouă dificultate. Cu cît este mai mare lungimea de undă a luminii, cu atît mai puţin exact putem să definim obiectul, din cauza efectului de difracţie. Şi astfel nu reuşim să găsim poziţia exactă a electronului la un moment dat. Heisenberg a arătat că produsul dintre incertitudinea în poziţie şi incertitudinea în viteză nu poate fi niciodată mai mic decît constanta lui Planck împărţită la masa particulei,

$$\Delta v \cdot \Delta x \geqslant \frac{h}{m}.$$

În felul acesta, cu unde foarte scurte putem defini mai exact poziţiile unei particule care se mişcă, dar îi vom influenţa foarte mult viteza, în timp ce cu unde foarte lungi îi putem determina viteza fără s-o modificăm, însă vom avea o mare nedeterminare a poziţiilor ei. Acum putem alege o cale de mijloc între aceste procedee imprecise de determi-

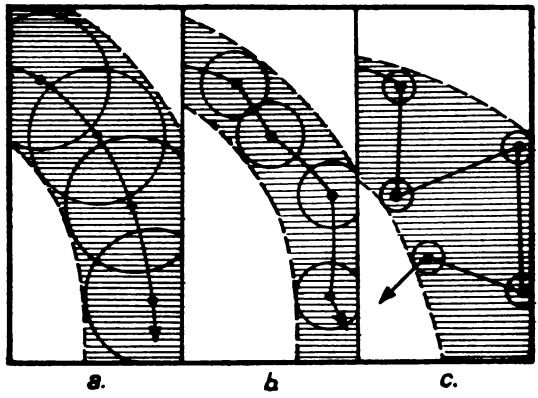


FIG. VII—21 Traiectoria unei particule în experienţa imaginată de Heisenberg: *a* — lungimea de undă a luminii este prea mare şi fiecare poziţie măsurată este foarte inexactă; *b* — condiţiile optime; *c* — frecvenţa este prea mare şi particula este azvîrlită prea mult.

nare. Dacă utilizăm o anumită undă de lumină de lungime intermediară, facultativă, vom perturba traiectoria particulei destul de puţin şi vom putea încă să-i definim traiectoria cu o aproximaţie destul de bună (fig. VII-21). Traiectoria observată, exprimată în termeni clasici, nu va fi o linie netă, ci mai degrabă o bandă cu marginile mîzgălite (nedeterminate net. — *N.T.*). Descriind traiectoria unui electron în felul acesta, nu mai avem dificultăţi, să zicem, în cazul unui tub de imagine de televizor, unde „grosimea" traiectoriei electronului pe ecran este mult mai mică decît diametrul spotului pe care îl formează fasciculul de electroni pe ecran. Aici putem reprezenta traiectoria electronului destul de satisfăcător, printr-o linie. Însă orbita unui electron în interiorul atomului nu o putem descrie în acelaşi fel. Banda de incertitudine este aproximativ tot atît de largă ca şi distanţa de la orbită la nucleu!

Să presupunem că am renunţat să urmărim particula care se mişcă cu ajutorul luminii şi în schimb încercăm metoda camerei cu ceaţă. În atelierul nostru imaginar construim o „cameră cu ceaţă", ideală, din care s-au scos complet particulele materiale şi a fost umplută cu nişte „indicatori"

imaginari foarte mici, care devin „activaţi" cînd prin apropierea lor trece un electron. Indicatorii activaţi vor arăta urma particulei ce se mişcă întocmai cum o fac picăturile de apă în camera cu ceaţă*.

Mecanica clasică va spune că, în principiu, indicatorii pot fi făcuţi destul de mici şi de sensibili, astfel încît ei să nu reţină nici o cantitate mai importantă de energie de la particula ce se mişcă şi noi am putea observa traiectoria acesteia cu orice precizie dorită. Însă mecanica cuantică aduce o obiecţie fundamentală acestei proceduri. Una dintre regulile ei este: cu cît este mai mic sistemul mecanic, cu atît este mai mare cuanta (cantitatea minimă) de energie a lui. Astfel, dacă mărimea „indicatorilor" este redusă (pentru măsurarea cît mai exactă a poziţiei electronului), ei vor lua mai multă energie de la particula care trece. Situaţia este analogă cu dificultăţile de nerezolvat în urmărirea particulei cu ajutorul luminii, ducîndu-ne din nou la aceeaşi relaţie de incertitudine pentru poziţie şi viteză.

Ce era de făcut? Heisenberg a tras concluzia că *la nivelul atomic trebuie să renunţăm la noţiunea de traiectorie a unui obiect ca linie matematică (adică infinit de subţire)*. Această noţiune este destul de exactă, cînd avem de a face cu fenomenele din domeniul experienţei obişnuite, unde putem să ne închipuim că un obiect în mişcare îşi urmează calea ca şi cum s-ar afla pe calea ferată. Însă în lumea microscopică a electronilor dintr-un atom, mişcările individuale şi evenimentele nu sînt atît de bine predeterminate. Micile particule materiale, ca electronii şi protonii, se mişcă în spaţiu ghidaţi de unde, care ar trebui considerate drept traiectoriile lărgite din mecanica clasică. Ceea ce este mai important în această ghidare este faptul că ea se realizează mai mult într-un mod *stochastic* decît *determinist*. Noi putem calcula doar *probabilitatea* ca un electron să lovească ecranul într-un anumit punct sau ca orice altă particulă materială să fie găsită într-un anumit loc dintr-un instrument dat, însă nu putem spune, cu siguranţă, pe ce drum se va deplasa aceasta într-un cîmp de forţe dat.

---

* Camera cu ceaţă adevărată, pe care o folosesc fizicienii, va fi descrisă în capitolul următor.

Trebuie însă că fie clar că aici cuvîntul *„probabilitate"* este utilizat în cu totul alt sens decît este înţeles în fizica clasică şi în viaţa de toate zilele. Cînd spunem la un joc de cărţi că există o anumită probabilitate să tragi o carte mare, înţelegem numai că avem de estimat şansele, deoarece noi nu cunoaştem aranjamentul cărţilor din pachet. Dacă ştiam exact cum sînt aranjate cărţile, am fi putut prevedea cu precizie dacă ne vine, sau nu, o carte mare. Fizica clasică presupune că acelaşi lucru este valabil şi în cazul, să spunem, al problemei comportării moleculelor unui gaz: comportarea lor ar trebui să fie descrisă pe baza probabilităţii statistice şi numai din cauza unei incomplete cunoaşteri — dacă ne-ar fi date toate poziţiile şi vitezele tuturor particulelor, am putea prevedea evenimentele din interiorul gazului în toate amănuntele. Principiul de incertitudine taie o asemenea idee de la rădăcină. Noi nu putem prezice mişcările particulelor individuale, deoarece, în primul rînd, nu cunoaştem niciodată exact condiţiile iniţiale. Este imposibil, *în principiu*, să se obţină o măsurătoare exactă simultană a poziţiei şi vitezei unei particule la scara atomică.

Este funcţia de undă ψ (sau, mai degrabă, pătratul ei) care ghidează traiectoria unei particule materiale, o „entitate fizică", definită, care *există* în acelaşi sens în care *există* atomii de sodiu sau rachetele balistice intercontinentale? Răspunsul depinde de ceea ce înţelegem prin cuvîntul „existenţă". Funcţiile de undă „există" în acelaşi sens ca şi traiectoriile corpurilor materiale. Orbita Pămîntului în jurul Soarelui, sau a Lunii în jurul Pămîntului *există* în sens matematic, reprezentînd continuum-ul de puncte ocupate consecutiv de un corp material în mişcare. Însă ele *nu există* în acelaşi sens ca şinele de cale ferată care ghidează mişcarea trenului pe întinsul ţării. În particular, funcţia de undă nu are masă, nefiind altceva decît o traiectorie cu marginile difuze.

Probabil că cea mai apropiată analogie cu fizica clasică este dată de noţiunea de entropie. Entropia este o funcţie matematică, inventată de fizicienii teoreticieni şi legată de probabilitatea matematică a oricărui tip de mişcare moleculară; ea determină direcţia în care procesele termodinamice se dezvoltă în mod obişnuit: de la valori mai mici ale

entropiei la valori mai mari. Dar entropia nu este o „entitate fizică" în sensul în care sînt masa sau energia, şi de aceea putem vorbi despre 1 g de materie, sau 1 g de energie (după Einstein), dar nu are nici un sens să vorbim de 1 g de entropie. Şi are tot atît de puţin sens să vorbim despre 1 g de unde de Broglie, sau 1 g de funcţie de undă Schrödinger!

O examinare a formulei lui Heisenberg ne arată de ce putem neglija principiul de incertitudine şi să ne încredem complet în vechiul şi bunul principiu al determinismului, atunci cînd avem de a face cu materia la scara macroscopică. Produsul dintre incertitudinea în poziţie şi incertitudinea în viteză este egal cu constanta lui Planck, h, împărţită la masa particulei. Constanta lui Planck este o cantitate extrem de mică: valoarea ei numerică este de numai aproximativ 10^{-27} în sistemul de unităţi C.G.S. Dacă considerăm o particulă care cîntăreşte 1 mg, putem, în principiu, să-i determinăm simultan poziţia cu o trilionime dintr-un centimetru, iar viteza, cu o trilionime dintr-un centimetru pe secundă — sau cu 30 μ (microni) pe secol!

Principiul lui Heisenberg a fost dezvoltat de Bohr într-o nouă filozofie a fizicii. El cere o schimbare profundă a ideilor noastre asupra lumii materiale — idei pe care le-am dobîndit din experienţa de fiecare zi şi din fragedă copilărie. Însă el face ca multe dintre problemele complicate ale fizicii atomice să aibă un sens.

Mulţi fizicieni au acceptat cu uşurinţă această nouă concepţie. Altora nu le-a plăcut de loc. Din ultimul grup făcea parte şi Albert Einstein. Convingerile sale filozofice în legătură cu determinismul nu-i permiteau să ridice incertitudinea la rangul de principiu. Şi aşa după cum scepticii au încercat să găsească contradicţii în a sa teorie a relativităţii, tot aşa Einstein a încercat să descopere contradicţii în principiul de incertitudine al mecanicii cuantice. Cu toate acestea, eforturile sale nu au condus decît la întărirea principiului de incertitudine. Acest lucru este ilustrat într-un mod interesant de un incident care a avut loc la al şaselea Congres internaţional Solvay de fizică, care a avut loc în 1930, la Bruxelles.

Într-o discuţie la care era de faţă şi Bohr, Einstein a prezentat o „experienţă imaginată". Afirmînd că timpul era cea de a patra coordonată a spaţiu-timpului şi că energia

era cea de a patra componentă a impulsului (masa × viteza), el spunea că relaţia de incertitudine a lui Heisenberg implica faptul că o incertitudine în timp era legată de o incertitudine în energie, produsul celor două fiind cel puţin egal cu constanta *h* a lui Planck. Einstein a încercat să verifice dacă nu cumva timpul şi energia ar putea fi măsurate fără nici o incertitudine. Să considerăm, a spus el, o cutie ideală căptuşită cu oglinzi perfecte, care ar putea reţine energia radiantă infinit de mult timp. Să cîntărim cutia. Apoi, la un anumit moment ales, ceva mai tîrziu, un sistem care s-ar afla acolo, prevăzut cu un mecanism de ceasornic, la fel ca la o bombă cu întîrziere, ar deschide un obturator ideal lăsînd să iasă afară o parte din lumină. Să cîntărim din nou cutia. Variaţia masei ne spune ce energie a avut lumina emisă. În acest fel, spunea Einstein, s-ar putea măsura energia emisă ca şi momentul emisiei cu orice precizie am dori, în contradicţie cu principiul de incertitudine.

În dimineaţa următoare, după o noapte aproape nedormită, Bohr a dat o lovitură mortală raţionamentului lui Einstein. El a oferit un contraexperiment imaginat, cu un aparat ideal conceput de el însuşi [pe care autorul, ca student al lui Bohr, l-a şi construit din lemn şi metal, pentru a fi utilizat de Bohr la lecţiile în legătură cu subiectul respectiv (fig. VII-22)]. Bohr a atacat problema cîntăririi cutiei lui Einstein. Un arc cu scală prevăzut cu un indicator care să arate greutatea pe o coloană verticală aşezată de-a lungul lui, a spus el, ar fi cel mai bun instrument. Deoarece însă cutia trebuie să se mişte pe verticală la schimbarea greutăţii ei, va exista o incertitudine în viteza ei verticală şi deci o incertitudine în înălţimea ei, deasupra mesei, a spus Bohr. Mai mult, incertitudinea în legătură cu înălţarea ei deasupra suprafeţei Pămîntului va conduce la o incertitudine în mersul ceasului, deoarece, conform teoriei relativităţii, mersul lui depinde de poziţia în care se află în cîmpul gravitaţional. Bohr a continuat să arate că incertitudinile în timp şi în variaţia masei cutiei sînt legate prin relaţia pe care Einstein a încercat s-o respingă.

Bătut cu propriile lui argumente, Einstein a trebuit să recunoască că afirmaţiile lui Bohr-Heisenberg nu conţineau contradicţii interne, însă pînă la sfîrşitul vieţii sale

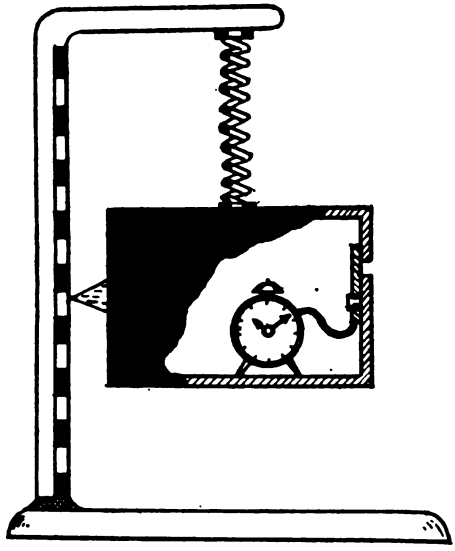


FIG. VII—22 Aparatul Einstein-Bohr pentru cîntărirea greutăţii luminii.

a refuzat să accepte principiul de incertitudine rămînînd cu speranţa că într-o bună zi ne vom reîntoarce la punctul de vedere determinist.

GĂURI ÎN NIMIC

Paul Adrien Maurice Dirac (fig. VII-17) şi-a luat diploma de inginer electrotehnic pe la începutul anilor douăzeci şi după aceea s-a trezit fără ocupaţie. Incapabil să-şi găsească o slujbă, el a făcut o cerere pentru obţinerea titlului de asistent la Universitatea din Cambridge, care a fost acceptată. După mai puţin de zece ani primea Premiul Nobel pentru fizică pentru importantele sale contribuţii în dezvoltarea mecanicii cuantice. Dirac era, şi încă este, un tip de savant în „turn de fildeş" şi deşi era oricînd bucuros să tăifăsuiască cu colegii despre călătoria sa în Orient sau despre orice altceva, prefera să-şi facă cercetările de unul singur. Cu toate acestea, observaţiile pe care le făcea la întrunirile

ştiinţifice erau consistente şi la obiect. O dată, în timpul unei conferinţe de fizică teoretică, ce avea loc la Copenhaga, asculta expunerea fizicianului japonez Y. Nishina, care acoperise tabla cu calcule ca să ajungă, în final, la o formulă importantă referitoare la împrăştierea radiaţiei de unde scurte de către electronii liberi. Dirac i-a atras atenţia lui Nishina asupra faptului că în formula pe care a obţinut-o în final, pe tablă, al treilea termen din paranteză avea un semn negativ, în timp ce în manuscrisul original termenul era pozitiv. „Ei bine, i-a răspuns Nishina, este corect aşa cum e scris în manuscris. Determinînd această formulă aici, pe tablă, trebuie să fi făcut o greşală de semn în vreun loc". „Într-un *număr impar* de locuri" a corectat Dirac. Desigur, trei, cinci, şapte etc. greşeli de semn ar fi condus la acelaşi rezultat.

O dată, în timpul discuţiilor care au urmat după o conferinţă a lui Dirac la Universitatea din Toronto, un profesor canadian din auditoriu a ridicat mîna: „Doctore Dirac, a spus el, nu am înţeles cum aţi obţinut această formulă din colţul din stînga al tablei". „Aceasta este o mărturisire şi nu o întrebare", a spus Dirac. „Vă rog, următoarea întrebare".

Abilitatea lui în gimnastica mintală este ilustrată de soluţia neobişnuită pe care a dat-o unei probleme complicate care preocupa minţile matematicienilor şi fizicienilor de la Universitatea din Göttingen în timpul cînd Dirac era în vizită acolo. Problema cerea să se scrie toate numerele, de la 1 la 100, utilizînd toate notaţiile algebrice $+$, $-$, putere, radical etc. şi numai cîte patru cifre 2 pentru scrierea fiecărui număr. Astfel, de exemplu, 1 putea fi scris sub forma $\frac{2 \times 2}{2 \times 2}$. Pentru 2 se putea scrie $\frac{2}{2} + \frac{2}{2}$, 3 şi 5 puteau fi scrişi $2^2 - \frac{2}{2}$ şi $2^2 + \frac{2}{2}$, 7 era $\frac{2}{0{,}2 \times 2} + 2$ şi aşa mai departe.

Fiindu-i dată această problemă, Dirac a găsit foarte repede o soluţie generală pentru a scrie *orice* număr utilizînd *numai trei cifre de 2*. Soluţia este:

$$N = -\log_2 \log_2 \sqrt{\sqrt{\sqrt{\sqrt{2}}}},$$

unde numărul de radicali este egal cu numărul N dat. Pentru cei care cunosc ceva algebră, verificarea formulei este evidentă.

Însă dintre importantele sale descoperiri matematice Dirac era mîndru, în mod deosebit, de una care, cu toate acestea, nu a contribuit cu nimic la faima lui. Discutînd într-o zi cu soţia unui membru al corpului profesoral al facultăţii, el a observat cum aceasta împletea o eşarfă sau cam aşa ceva. Întorcîndu-se în camera lui de lucru, el a încercat să reproducă mintal mişcarea rapidă a andrelelor din mîinile doamnei şi a ajuns la concluzia că există încă o posibilitate în care s-ar putea manipula andrelele. S-a grăbit să se întoarcă şi să-şi facă cunoscută descoperirea, dar a fost foarte nemulţumit cînd a aflat că ambele metode — „croşetatul" şi „împletitul" — erau cunoscute femeilor, de secole.

Deşi nu a făcut nici o descoperire importantă în topologie, Dirac a adus multe contribuţii în domeniul teoriei cuantice relativiste. Mecanica ondulatorie, care pe atunci avea abia cîţiva ani, a fost iniţial formulată de Schrődinger pentru cazul mişcării nerelativiste, adică, pentru mişcarea particulelor cu viteze mici, în comparaţie cu viteza luminii, iar fizicienii teoreticieni îşi spărgeau capul încercînd să unească cele două mari teorii: relativitatea şi cuantica. În plus, ecuaţia de undă a lui Schrődinger considera electronul punctiform şi toate încercările de a o aplica la electronul cu spin (care se rotea în jurul axei proprii), care avea proprietăţile unui mic magnet, nu au dus la rezultate satisfăcătoare.

În renumitul său articol publicat în 1930, Dirac a formulat o nouă ecuaţie, care acum îi poartă numele şi care permite să prinzi doi iepuri dintr-o dată. Ea satisface toate cerinţele relativiste, fiind aplicabilă la un electron, indiferent cu ce viteză se mişcă acesta şi în acelaşi timp conduce automat la concluzia că electronul *trebuie să se comporte* ca o mică sfîrlează magnetizată care se roteşte. Ecuaţia de undă relativistă a lui Dirac este prea complicată pentru a fi discutată aici, însă cititorul poate fi pe deplin liniştit că ea este absolut corectă.

Dar, deşi foarte bună, ecuaţia lui Dirac a condus imediat la o foarte serioasă complicaţie, chiar datorită faptului că unea atît de bine relativitatea şi cuantica. Dificultatea

apărea din cauza faptului (care nu a fost discutat în capitolul VI) că mecanica relativistă conduce la existența, posibilă din punct de vedere matematic, a două lumi: lumea „pozitivă", în care trăim noi, și o alta, strania lume „negativă", care poate numai să ne aţîţe imaginaţia. În această lume „negativă", toate obiectele au *masă negativă*, ceea ce înseamnă că, fiind împinse într-un sens, ele se vor mișca în sens opus. Printr-o analogie evidentă am putea denumi electronii cu masă negativă „electroni măgari". Lucruri stranii se vor întîmpla în această lume a maselor negative. Pentru a face ca un obiect să se miște înainte, trebuie să-l împingem înapoi și pentru a-l opri ar trebui să-l împingem înainte. Să considerăm doi electroni în repaus, aşezaţi unul aproape de celălalt. Datorită sarcinilor lor electrice, între ei există forțe repulsive. Dacă ambii electroni sînt „obișnuiți", aceste forțe îi vor accelera în direcţii opuse și electronii vor zbura, unul într-o parte, altul într-alta, cu mare viteză. Dacă însă unul dintre aceşti doi electroni este „măgar", forța repulsivă îl va face să se miște *către* celălalt electron, în timp ce acest celălalt electron se deplasează mai departe. Deoarece ambele acceleraţii sînt numeric egale, cei doi electroni se vor deplasa în continuare, cu o viteză tot mai mare, electronul măgar urmărindu-l pe cel obișnuit. Aici nu este nici o contradicţie cu legea conservării energiei. Energia cinetică a electronului obișnuit este $\frac{1}{2} mv^2$ în timp ce pentru măgar avem:

$$-\frac{1}{2} mv^2.$$

Astfel, energia totală a sistemului este $\frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mv^2 =$ $= 0$, adică exact aceeași ca în cazul în care ei ar fi în repaus.

Nimeni nu a observat vreodată electroni măgari, pietre măgari sau planete măgari; acestea erau doar o soluţie fictivă suplimentară a ecuaţiilor mecanicii stabilite de Einstein. Înainte însă ca Dirac să unească relativitatea și cuantica, acestea nu constituiau un motiv de îngrijorare. De fapt, un electron normal în repaus are energia m_0c^2 și, cînd se mișcă cu viteza v, la această energie trebuie să se adauge și energia lui cinetică. Un electron măgar, pe de altă parte, are energia

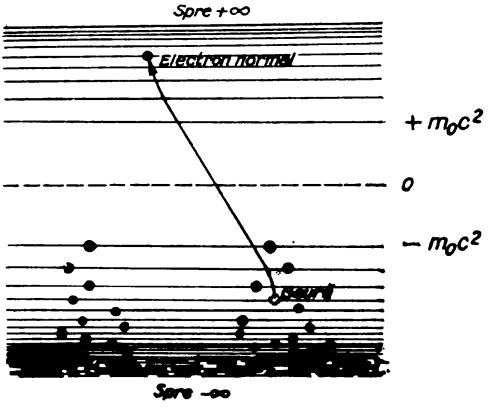


FIG. VII–23 Oceanul de „electroni măgari" al lui Dirac în care se arată formarea unei perechi de electroni (unul pozitiv şi altul negativ).

de repaus — m_0c^2 şi mişcarea lui va duce la apariţia unei energii cinetice *negative*, care trebuie adăugată la energia de repaus. Diagrama de energie pentru cele două feluri de electroni arată ca în fig. VII-23. Ea este împărţită în două părţi, partea de sus pentru electroni obişnuiţi, iar partea de jos pentru electroni măgari, cele două părţi fiind separate printr-un spaţiu gol întins între $+ m_0c^2$ şi $- m_0c^2$, care nu corespunde nici unui fel de mişcare posibilă. Astfel, *dacă mişcarea particulelor este continuă*, nu există totuşi nici o posibilitate ca ele să treacă din partea de sus în partea de jos a diagramei şi putem înlătura dificultatea, spunînd doar: „electronii noştri sînt particule cuminţi cu masa pozitivă, şi nu dăm nici o para pe o altă posibilitate matematică!"

Totuşi nu putem trece peste dificultate aşa de uşor, dacă încercăm să unim relativitatea şi teoria cuantelor. De fapt, conform teoriei cuantice, electronilor le place tocmai să sară de pe un nivel de energie pe altul, chiar atunci cînd între cele două stări de mişcare nu există o tranziţie continuă. Dacă electronii pot sări de pe una din orbitele lui Bohr pe cealaltă, emiţînd energie sub formă de cuante de lumină, de ce nu ar putea sări şi de pe nivelele de energie de sus pe cele de jos, aşa cum se arată în fig. VII-23? Însă dacă lucrul acesta ar fi fost posibil, oricare electron normal singur ar

sări jos, la electronii măgari stabili, cu energie negativă, şi, ca urmare a pierderii energiei, în cantităţi din ce în ce mai mari, prin radiaţie, s-ar mişca din ce în ce mai repede, cîştigînd energie cinetică negativă... Desigur, nu se întîmplă aşa ceva, dar de ce?

Singura modalitate în care Dirac putea rezolva dificultatea era să se presupună că toate stările de energie negativă sînt complet umplute cu electroni măgari şi că electronilor de pe stările de energie pozitivă le este interzis să coboare la stările de energie negativă datorită principiului de excluziune al lui Pauli. Desigur, aceasta înseamnă că vidul nu mai este vid, ci complet umplut cu electroni măgari care se mişcă în toate direcţiile posibile, cu toate vitezele posibile! De fapt, fiecare unitate de volum de vid trebuie să conţină un *număr infinit* de astfel de particule sucite. De ce nu le observăm niciodată? Explicaţia este destul de enigmatică. Să ne imaginăm un peşte care trăieşte pe fundul oceanului şi care niciodată nu vine la suprafaţă, neştiind prin urmare că apa se termină pe undeva, pe deasupra lui. Dacă acest peşte este destul de inteligent pentru a face speculaţii în legătură cu vecinătatea care îl înconjură, el nu va mai considera apa ca un „mediu", ci ca „spaţiu liber". La fel, s-ar putea argumenta că fizicienii nu percep prezenţa acestei turme, infinit de dense, de electroni măgari, deoarece ei sînt răspîndiţi destul de uniform în spaţiu. Desigur, această idee aducea cu eterul universal de modă veche, dar era util să se facă cercetări în continuare. Întorcîndu-ne la inteligentul nostru peşte de adîncime, putem să ne închipuim că el şi-a format noţiunea de gravitaţie observînd sticlele de bere goale, diverse alte resturi şi chiar nave care se scufundă pe fundul oceanului. Însă cînd, într-o bună zi, aerul care a mai rămas închis în cabina navei scufundate se va elibera, inteligentul nostru peşte de adîncime va observa un şir de bule argintii strălucitoare, ridicîndu-se la suprafaţa oceanului. Peştele va fi, desigur, foarte surprins şi, după ce va reflecta, va ajunge la concluzia că aceste sfere argintii trebuie să aibă o masă negativă. Fără îndoială că aşa este, pentru că altfel cum s-ar putea mişca în sus cîtă vreme gravitaţia trage orice în jos?

Ei bine, Dirac avea idei cu totul asemănătoare în legătură cu oceanul său umplut complet cu electroni în starea

de energie negativă. Să presupunem că există o bulă în oceanul lui Dirac şi aceasta înseamnă că unul dintre electronii măgari lipseşte. Cum poate fizicianul să-şi dea seama de acest lucru? Deoarece absenţa unei sarcini negative este echivalentă cu prezenţa unei sarcini pozitive, el va percepe bula ca o sarcină pozitivă. De asemenea, conform analogiei cu bula, semnul masei va fi inversat şi lipsa unei mase negative va fi percepută ca prezenţa unei mase pozitive. O asemenea bulă în oceanul lui Dirac, n-ar putea fi oare un proton obişnuit? Ar fi fost o idee grozavă, dar nu merge. Dirac a încercat să explice că masa mai mare a bulei „care ar putea să fie proton" s-ar datora marii viscozităţi care rezultă din interacţiunile între electronii măgari, însă nu a reuşit. Masa particulei bulă încărcată pozitiv se încăpăţîna să rămînă exact egală cu masa electronului obişnuit. Dificultăţile erau şi mai mult sporite de calculele lui Pauli, care a arătat că, dacă protonul este într-adevăr o bulă în oceanul lui Dirac, atomul de hidrogen n-ar putea să existe decît o fracţiune neglijabilă dintr-o secundă. Desigur, dacă atomul de hidrogen ar fi fost „o picătură care s-ar fi rotit în jurul unei bule" picătura ar fi căzut înăuntru şi ar fi umplut cavitatea bulei, iar atomul de hidrogen s-ar fi anihilat dintr-o dată. În legătură cu aceasta, Pauli a propus ceea ce se numeşte „un al doilea principiu al lui Pauli", după care orice nouă idee formulată de vreun fizician teoretician devenea imediat aplicabilă tuturor atomilor care îi formau corpul. Conform acestui principiu, corpul lui Dirac ar fi trebuit să fie anihilat într-o fracţiune de microsecundă după conceperea ideii şi alţi fizicieni teoreticieni ar fi fost salvaţi de a o mai cunoaşte...

În anul 1931, un fizician american, Carl Anderson, studia urmele produse în camera cu ceaţă de fasciculele de electroni de mare energie din radiaţiile cosmice. Pentru a măsura viteza acestor electroni, el a plasat camera cu ceaţă într-un cîmp magnetic puternic şi, spre marea lui surpriză, fotografiile au arătat că jumătate din electroni erau abătuţi într-o parte, în timp ce cealaltă jumătate era deviată în partea opusă. Deci avea de a face cu un amestec de 50% electroni încărcaţi pozitiv şi 50% electroni cu sarcini negative, toţi avînd aceeaşi masă. Electronii pozitivi erau, aşadar, găurile din oceanul lui Dirac, care n-au reuşit să se clasifice drept pro-

toni, dar care s-au dovedit particule de sine stătătoare. Experienţele cu electroni pozitivi sau *pozitroni*, cum sînt denumiţi în mod obişnuit, au confirmat repede toate previziunile bazate pe teoria găurilor a lui Dirac. Perechile formate dintr-un electron pozitiv şi unul negativ pot fi produse prin ciocnirea cuantelor de lumină de energie înaltă (radiaţii gamma sau radiaţii cosmice) cu nucleele atomice, iar probabilitatea acestor evenimente coincide exact cu valorile calculate pe baza teoriei lui Dirac. La trecerea pozitronilor prin materia obişnuită s-a observat că ei se anihilau în ciocnirile cu electroni obişnuiţi, energia echivalentă cu masele lor fiind eliberată sub formă de fotoni de mare energie. Fiecare detaliu separat, *de fapt*, era exact aşa cum fusese prezis.

Dar ce este cu fantastica teorie care consideră electronii pozitivi drept găuri într-o distribuţie infinit de densă de electroni cu masă negativă? Ei bine, teoria e teorie şi este justificată prin concordanţa cu faptele experimentale, indiferent dacă ne place sau nu. S-a arătat, încă de la apariţia lucrării originale a lui Dirac, că *de fapt* nu este necesar să se presupună existenţa unui ocean infinit de dens de electroni cu masă negativă şi că pozitronii pot fi consideraţi, pentru toate scopurile practice, drept găuri într-un spaţiu absolut gol.

ANTIMATERIA

După descoperirea electronilor pozitivi, fizicienii au visat la posibilitatea de a avea protoni negativi care să se afle în aceeaşi relaţie cu protonii obişnuiţi ca şi pozitronii faţă de electroni. Însă, din cauză că protonii sînt cam de două mii de ori mai grei decît electronii, producerea lor ar cere energii de ordinul a cîtorva miliarde de electronvolţi. Aceasta a condus la numeroasele proiecte ambiţioase de construire a unor acceleratori de particule*, care ar putea să ofere acea cantitate de energie necesară proiectilelor nucleare; în S.U.A. au fost puse temeliile pentru doi astfel de supraacceleratori: un *bevatron* la Laboratorul de radiaţii al Universi-

* Vezi capitolul VIII, paragraful intitulat: *Primele spărgătoare de nuclee*.

tăţii din California de la Berkeley şi un *cosmotron* la Laboratorul Naţional Brookhaven, în Long Island, statul New York. Întrecerea a fost cîştigată de fizicienii de pe Coasta de vest, Emilio Segré, O. Chamberlain şi alţii, care au anunţat, în octombrie 1955, că au observat protoni negativi emişi din ţinte bombardate cu proiectile atomice de 6,2 GeV (miliarde de electronvolţi).

Principala dificultate în observarea protonilor negativi formaţi în ţinta bombardată consta în aceea că se aştepta ca aceşti protoni să fie întovărăşiţi de zeci de mii de alte particule (mezoni grei) care, de asemenea, se formau în timpul ciocnirii. De aceea, protonii negativi trebuiau să fie filtraţi şi separaţi de toate celelalte particule care îi întovărăşeau. Aceasta s-a realizat printr-un „labirint" complicat, format cu ajutorul cîmpurilor magnetice, foarte înguste etc. prin care puteau să treacă numai particulele avînd proprietăţile aşteptate pentru antiprotoni. Cînd roiul de particule care venea de la ţintă (situată în fasciculul cu care se bombarda, al bevatronului) trecea prin acest „labirint", numai protonii negativi trebuiau să ajungă la capătul lui opus. Cînd maşina a fost pusă în funcţiune, cei patru experimentatori au avut satisfacţia să observe particulele rapide care ieşeau prin deschizătura posterioară cu o frecvenţă de aproximativ una la fiecare şase minute. Aşa cum au arătat mai apoi verificările, particulele erau într-adevăr protoni negativi formaţi în ţinta bombardată cu fasciculul de mare energie al bevatronului. S-a găsit că masa avea valoarea de 1 840 mase electronice, ceea ce, după cum se ştie, este masa unui proton obişnuit pozitiv.

La fel cum electronii pozitivi produşi artificial se anihilează la trecerea lor prin materia obişnuită care conţine o mulţime de electroni negativi obişnuiţi, era de aşteptat ca şi protonii negativi să se anihileze la întîlnirea cu protonii pozitivi din nucleele atomice cu care se ciocneau. Deoarece energia implicată în procesul de anihilare proton-antiproton depăşeşte cu un factor de aproximativ două mii energia implicată într-o ciocnire electron-antielectron, procesul de anihilare se desfăşoară mult mai violent, dînd naştere unei „stele" formate de numeroasele particule emise.

Proba existenţei protonilor negativi reprezintă un exemplu excelent de verificare experimentală a unei previziuni

teoretice referitoare la proprietăţile materiei, deşi în momentul cînd teoria a fost propusă, ea părea cu totul imposibilă. A urmat apoi, spre sfîrşitul lui 1956, descoperirea *antineutronilor*, adică a particulelor care se află în aceeaşi relaţie cu neutronii obişnuiţi ca şi protonii negativi faţă de cei pozitivi. Deoarece, în acest caz, sarcina electrică lipseşte, diferenţa dintre neutroni şi antineutroni poate fi observată numai pe baza posibilităţilor lor de a se anihila reciproc.

Aşa după cum protonii, neutronii şi electronii care formează atomii materiei obişnuite pot exista în antistări, ne-am putea închipui şi antimateria formată cu aceste particule. Toate proprietăţile fizice şi chimice ale antimateriei ar fi aceleaşi ca şi cele ale materiei obişnuite şi singurul mijloc de a spune despre două pietre că sînt „anti" una faţă de alta este să le punem în contact. Dacă nu se întîmplă nimic ele sînt de acelaşi fel de materie; dacă se anihilează într-o explozie formidabilă ele sînt „anti".

Existenţa posibilă a antimateriei pune mari probleme astronomiei şi cosmologiei. Este toată materia din univers de un singur fel sau există grupuri de materie şi antimaterie împrăştiate neregulat în spaţiul infinit? Există argumente puternice că, în interiorul sistemului nostru stelar al Căii Lactee, toată materia este de acelaşi fel. Desigur, dacă nu ar fi aşa, procesele de anihilare dintre stele şi materia difuză interstelară ar produce o puternică radiaţie observabilă. Oare, vecina noastră cea mai apropiată din spaţiu, marea nebuloasă Andromeda, ca şi sutele de milioane de alte galaxii stelare împrăştiate în tot spaţiul şi cuprinse în domeniul de observare al telescopului de 200 ţoli de la Observatorul de pe muntele Palomar sînt făcute din acelaşi fel de materie sau există un amestec jumătate, jumătate? Şi dacă toată materia din univers este de acelaşi fel, de ce este aşa? Iar dacă este parţial materie şi parţial antimaterie, cum sînt separate aceste fracţiuni care se exclud reciproc? Deocamdată nu avem răspuns la nici una dintre probleme şi putem doar să sperăm că viitoarele generaţii de fizicieni şi astronomi vor fi în stare să rezolve misterul.

Teoria cuantică a mişcării a avut severe ciocniri cu teoria cinetică a căldurii, tratată în capitolul IV al acestei cărţi. Desigur, dacă electronii care se mişcă în interiorul atomilor au anumite valori discrete ale energiei cinetice, acelaşi lucru trebuie să se întîmple şi cu moleculele gazului care se mişcă într-un container închis. Astfel, considerînd distribuţia de energie a moleculelor gazului, nu am mai putea presupune că moleculele de gaz ar putea avea orice energie cinetică, (fig. VII-24 *a*), aşa cum s-a presupus în teoriile clasice dezvoltate de Boltzmann, Maxwell, Gibbs şi alţii. Dimpotrivă, ar trebui definite nivelele cuantice, determinate de mărimea vasului, şi nici o energie nu ar fi permisă între aceste nivele. Situaţia era complicată de faptul că unele particule (de pildă, electronii) ascultau de principiul lui Pauli, care interzicea ca mai mult de două astfel de particule să ocupe acelaşi nivel cuantic, în timp ce alte particule (ca molecu-

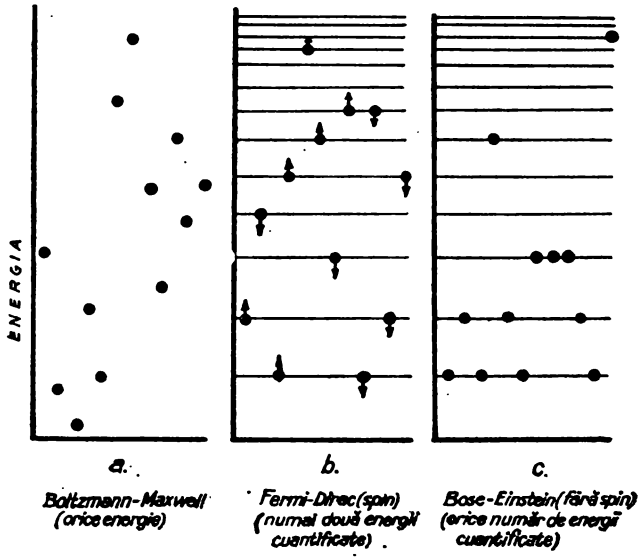


FIG. VII—24 Trei feluri de tratare statistică a energiei a 12 particule de gaz.

lele de aer) nu se supun acestei restricții. Aceste fapte au dus la două feluri diferite de statistici: așa-numita statistică Fermi-Dirac, aplicabilă particulelor care ascultă de principiul lui Pauli și statistica Bose-Einstein aplicabilă particulelor care nu ascultă de el. În fig. VII-24 *b*, *c* se încearcă să se clarifice diferența dintre aceste două tipuri de statistici.

Întreaga dezvoltare a statisticii cuantice este foarte interesantă, dar foarte greu de explicat fără a se utiliza o terminologie „tehnică".

Astfel, tot ceea ce poate fi afirmat aici este că cele două noi statistici, practic nu diferă de bătrîna și cumintea statistică clasică în toate cazurile obișnuite, de exemplu, aerul atmosferic. Se așteaptă și se observă abateri numai în anumite cazuri, de tipul gazului electronic din metale și în stelele așa-numite „pitice albe", în care situația este guvernată de regulile Fermi-Dirac, ca și în gazele obișnuite la o temperatură foarte apropiată de zero absolut, în care domină regulile Bose-Einstein. Ar fi de dorit ca cititorii acestei cărți, pe care îi interesează acest subiect în mod deosebit, să continue studiul fizicii moderne mult mai aprofundat. În acest caz, problemele de statistică cuantică le vor deveni clare ca cristalul după exact șase ani de studiu.

VIII

Nucleul atomic şi particulele elementare

DESCOPERIREA RADIOACTIVITĂŢII

Pe la începutul anului 1896, fizicianul francez Henri Becquerel, auzind despre recenta descoperire a radiaţiilor X de către Roentgen, s-a hotărît să observe dacă materialele fluorescente, care se ştie că luminează sub acţiunea razelor de lumină incidente, nu emit ceva similar radiaţiilor X. Pentru aceste studii el a ales cristalele unui mineral cunoscut sub numele de uranil (dublu sulfat de uraniu şi potasiu), pe care îl mai studiase anterior pentru puternicele lui proprietăţi fluorescente. Deoarece Becquerel credea că radiaţia este rezultatul iluminării exterioare, el a aşezat cristalul de uranil pe o placă fotografică învelită în hîrtie neagră şi a pus placa, cu totul, pe pervazul ferestrei. Cînd a developat placa, după o expunere de cîteva ore la lumina Soarelui, a văzut clar o pată întunecată sub locul unde stătuse cristalul de uranil. El a repetat experienţa de mai multe ori şi pata neagră era întotdeauna la locul ei, chiar şi cînd învelea placa fotografică în mai multă hîrtie neagră.

În zilele de 26 şi 27 februarie (1896) cerul Parisului era acoperit de nori grei; ploua intermitent şi forfota de pe bulevarde se retrăsese sub acoperişul cafenelelor şi restaurantelor. Nefericitul profesor Becquerel puse în sertarul biroului proaspăta placă fotografică cu cristalul de uranil pe ea şi bine învelită pînă cînd avea să fie vreme mai bună. Dar soarele nu a apărut pînă la 1 martie şi chiar şi atunci era adesea acoperit de norii trecători. Totuşi Becquerel şi-a expus din nou placa acţiunii razelor Soarelui şi apoi s-a dus în camera obscură ca să vadă rezultatul. Era cu totul de necre-

zut! În locul slabelor urme înnegrite pe care le obținuse mai înainte în timpul expunerii de o zi întreagă la un Soare strălucitor, pe locul unde fusese pus cristalul de uranil era o pată neagră ca de cărbune! Aparent, înnegrirea plăcii nu avea nimic de a face cu expunerea cristalului de uranil razelor solare și această înnegrire a continuat neîntrerupt tot timpul cît a stat bucata de uranil pe ea, în sertarul închis al biroului lui Becquerel.

Era o radiație penetrantă similară radiațiilor X, emisă însă fără nici un fel de excitație externă a atomilor, probabil a celor de uraniu din cristalul lui Becquerel. Becquerel a încercat să încălzească cristalul, să-l răcească, să-l transforme în praf, să-l dizolve în acizi și încă tot ce i-a mai trecut prin minte, dar intensitatea misterioasei radiații rămînea continuu aceeași. Era clar că această nouă proprietate a materiei, care a primit numele de *radioactivitate*, nu avea nimic de a face cu modul, fizic sau chimic, în care atomii erau strînși la un loc, ci era adînc ascunsă în interiorul atomului.

ELEMENTE RADIOACTIVE

În timpul primilor ani după descoperirea radioactivității, un mare număr de chimiști și fizicieni s-au ocupat cu studiul noului fenomen. Doamna Marie Sklodowska Curie, de origine poloneză, cu studii de chimie și soția fizicianului francez Pierre Curie a efectuat cercetări amănunțite asupra tuturor elementelor chimice și compușilor lor pentru determinarea radioactivității și a găsit că toriul emite radiații similare cu ale uraniului. Comparînd radioactivitatea minereurilor de uraniu cu radioactivitatea uraniului metalic, ea a observat că minereurile sînt aproximativ de cinci ori mai radioactive decît s-ar fi așteptat, socotindu-se după cantitatea de uraniu pe care o conțin. Aceasta indica faptul că minereurile trebuiau să conțină mici cantități dintr-o altă substanță radioactivă, mult mai activă decît însuși uraniul, însă, pentru separarea acestei substanțe, era nevoie de o cantitate mare de minereu de uraniu, foarte costisitor. Doamna Curie a reușit să obțină de la guvernul austriac o tonă de reziduuri nefolositoare (în acea vreme) de la Uzina de stat de producere a uraniului de la Joachimsthal (azi Jachymov, Cehoslovacia), care deși sărăcite în uraniu, conțineau totuși încă

multă radioactivitate. Fiind condusă de firul unei Ariadne a radiațiilor penetrante, doamna Curie a reușit să separe o substanță cu proprietăți chimice asemănătoare celor ale bismutului, pe care ea a denumit-o *poloniu* în cinstea țării sale de baștină. După o muncă neobosită a fost separată o altă substanță, similară din punct de vedere chimic bariului, care a primit numele de radiu; el era de două milioane de ori mai radioactiv decît uraniul.

Pionierii, fie că cercetează ținuturi noi și necunoscute, ori noi domenii ale științei, cad adesea victime ale primejdiilor ascunse pe care le întîlnesc în cale. Moartea Mariei Curie la vîrsta de 67 ani s-a datorat leucemiei, boală despre care acum se știe că este provocată de expunerea la radiații penetrante. Cînd fizicienii au învățat mai bine cum să se păzească de radiații, au pus filme fotografice între filele cărților din laboratorul doamnei Curie. După developarea filmelor s-au observat numeroase amprente digitale datorate depunerilor radioactive de pe filele atinse de degetele doamnei Curie.

Descoperirea poloniului și radiului a fost urmată de multe alte descoperiri de substanțe radioactive. Printre ele se numărau: *actiniul*, rudă apropiată a uraniului fisionabil — care a fost separat de Debierne și Gisel, *radiotoriul* și *mesotoriul*, separate de Otto Hahn, care avea să descopere cam peste patruzeci de ani fenomenul de fisiune a uraniului.

FAMILII RADIOACTIVE

În studiul proprietăților radiației penetrante, în ceea ce privește imaginea fizică a fenomenelor, se făceau mereu progrese. În 1899, Ernest Rutherford, care avea pe atunci 28 de ani, a găsit că există trei feluri diferite de radiații:

1) Radiații alfa (α), care pot fi oprite de o foaie de hîrtie și care s-au dovedit a fi ioni de heliu (de fapt ele sînt nuclee ale atomilor de heliu, însă Rutherford n-a știut aceasta pînă cînd nu a efectuat experiențele de împrăștiere [vezi p. 253] cam cu 12 ani mai tîrziu.

2) Radiații beta (β), care pot trece prin foițe de aluminiu groase de cîțiva milimetri și care s-au dovedit a fi fascicule de electroni de mare viteză.

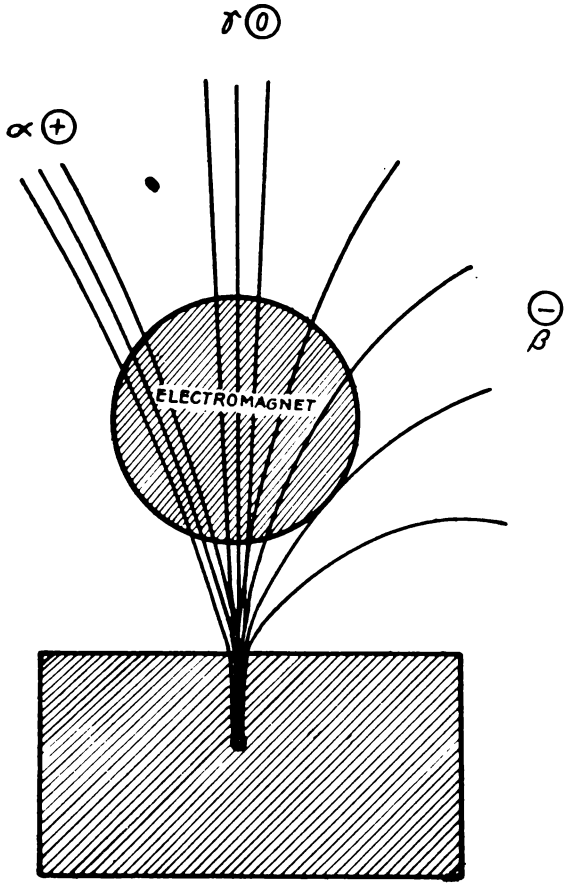


FIG. VIII—1 Radiaţiile alfa, beta şi gama.

3) Radiaţii gamma (γ), care pot să străbată plăci de plumb de cîţiva centimetri şi sînt similare radiaţiilor X, avînd însă o lungime de undă mai mică.

În cărţile de fizică (inclusiv în cele scrise de autor mai înainte) se obişnuieşte să se reproducă un desen ca cel din fig. VIII-1, care arată devierea radiaţiilor α, β şi γ, la trecerea lor printr-un cîmp magnetic (sau electric). Fasciculul

de particule alfa se încovoaie spre stînga (sarcini pozitive), fasciculul de particule beta spre dreapta (sarcini negative), iar fasciculul de radiaţii gamma rămîne nedeviat (unde electromagnetice). Este îndoielnic totuşi ca o astfel de experienţă să fi fost făcută în timpul primelor studii asupra radioactivităţii (de notat că devierea particulelor alfa cere un electromagnet excepţional de puternic, care de fapt, a fost construit mult mai tîrziu), căci diferenţa dintre alfa şi beta a fost stabilită prin metode indirecte cu mult mai complicate.

La început, mai mult în joacă, Rutherford şi colaboratorul său Frederick Soddy au ajuns la concluzia că fenomenul radioactivităţii este rezultatul transformării spontane a unui element chimic în altul. Emisia unei particule alfa, cu sarcina $+2$ şi masa 4, se produce atunci cînd se formează un nou element din cel vechi, noul element avînd o greutate atomică mai mică cu patru unităţi şi situîndu-se cu două căsuţe mai la stînga în sistemul periodic al elementelor al lui Mendeleev. Emisia unei particule beta (electron negativ) aduce elementul cu o căsuţă mai la dreapta în tabloul lui Mendeleev şi nu îi schimbă cu nimic greutatea atomică. Emisia unei radiaţii gamma nu este altceva decît rezultatul perturbării atomului în urma emisiei unei particule încărcate pozitiv sau negativ.

Seriile de dezintegrări succesive alfa şi beta degradează atomii grei, instabili, ai elementelor radioactive, reducîndu-le numărul atomic şi greutatea pînă cînd, în final, ajung la o stare stabilă care este atomul de plumb. Deoarece dezintegrarea alfa schimbă greutatea atomică cu patru unităţi, în timp ce dezintegrarea beta nu schimbă de loc greutatea atomică, pot exista patru familii sau serii de elemente radioactive:

1) cele în care greutatea atomică este un multiplu de patru : $4\ n$;

2) cele cu greutatea atomică $4\ n + 1$;

3) cele cu greutatea atomică $4\ n + 2$;

4) cele cu greutatea atomică $4\ n + 3$.

Greutatea atomică a uraniului este 238, adică $4 \times 59 + 2$. Deci uraniul şi toţi membrii familiei sale, care se obţin din el prin dezintegrări alfa şi beta, aparţin celei de a treia categorii menţionate. Greutatea atomică a toriului este de 232, adică 4×58, deci familia toriului aparţine

Schema de dezintegrare
a uraniului.

								90 – 234 UX1 245 d	92 – 238 U1 $4{,}5 \times 10$
								91 – 234 UX2 11 min	
		82 – 214 RaB 27 min	84 – 218 RaA 3 min	86 – 222 Rn 3,8 d	88 – 226 Ra 1 590 a	90 – 230 Io $8{,}3 \times 10^4$ a	92 – 234 UII $2{,}7 \times 10^5$ a		
	81 – 210 RaC" 13 min	83 – 214 RaC 20 min			Dezintegrare alfa				
	82 – 210 RaD 22 a	84 – 214 RaC' 10^{-4} s	Dezintegrare beta						
	83 – 210 RaE 50 d								
82 – 206 Pb Stabil	84 – 210 Po 137 d								

primei categorii. Protactiniul, care prin dezintegrare trece în actiniu, şi alţi membri ai familiei actiniului au greutatea atomică 231, adică $4 \times 57 + 3$ şi deci aparţin celei de a patra categorii. O familie radioactivă ai cărei membri să aibă greutatea atomică $4n + 1$ (categoria a doua) nu există în natură, însă poate fi produsă artificial în reactoarele nucleare.

Datorită muncii foarte serioase a primilor cercetători în domeniul radioactivităţii a fost stabilită genealogia acelor familii radioactive, care există în natură. La p. 313 se prezintă schema de dezintegrare a familiei uraniului, care începe cu bătrînul uraniu 238 şi, după opt dezintegrări alfa şi şase beta, se încheie cu plumbul 206, care este stabil.

Cele două numere aflate deasupra simbolului fiecărui element radioactiv reprezintă numărul atomic şi greutatea atomică, în timp ce numărul de dedesubt reprezintă timpul de înjumătăţire, în ani, zile, ore, minute sau secunde. Scheme de dezintegrare similare pot fi construite pentru toriu, protactiniu şi pentru cea de-a patra familie (care nu poartă nume) produsă în mod artificial.

LEGEA DURATEI DE VIAŢĂ

Dacă se urmăreşte istoria vieţilor unui mare grup de copii, căţeluşi, boboci de raţă sau de orice fel de animal, născuţi în aceeaşi zi, se constată că totuşi ei nu mor cu toţii în aceeaşi zi. Unii trăiesc ceva mai mult, alţii un timp ceva *mai* scurt, iar dacă se reprezintă grafic procentul de indivizi care mai sînt încă în viaţă la o anumită dată, se obţine o curbă tipică de supravieţuire de genul celei prezentate în fig. VIII-2*a*.

Ea indică faptul că există o anumită „durată de viaţă aşteptată", aşa cum se arată în diagramă, care este aproximativ de 75 de ani pentru om, 15 ani pentru un cîine şi numai de cîţiva ani pentru raţe. Curba arată că există o şansă relativ mică pentru ca ei să moară înainte de o anumită vîrstă şi o tot atît de mică şansă ca să trăiască încă mult după această vîrstă.

În cazul atomilor radioactivi, situaţia este cu totul diferită şi şansele ca un membru al familiei radioactive, proas-

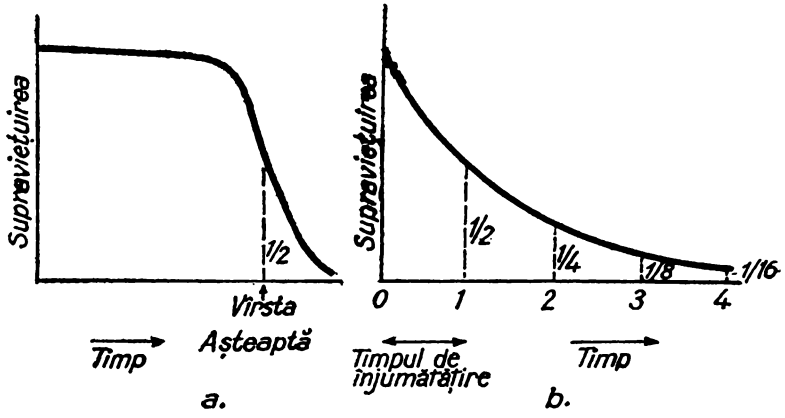


FIG. VIII—2 Curba de supraviețuire pentru animale *(a)* și pentru nuclee *(b)*.

păt format prin „reîncarnarea" predecesorului său (fie prin dezintegrare alfa, fie beta), să se „reîncarneze" în membrul următor al familiei sînt independente de perioada de timp care a trecut din momentul cînd a luat naștere. Situația este similară cu cazul soldaților angajați într-o bătălie continuă cu inamicul, unde în fiecare zi sînt uciși un anumit procent din ei și nu se poate spune cîți vor muri mîine.

În acest caz nu putem vorbi de o „durată de viață așteptată", ci trebuie să introducem noțiunea de „timp de înjumătățire", adică o perioadă de timp în care jumătate din soldați vor fi uciși sau jumătate din atomii radioactivi nestabili se vor dezintegra. Curba care reprezintă un astfel de proces este prezentată în fig. VIII-2 *b* și este ceea ce matematicienii numesc "o curbă exponențială". Diferitele elemente radioactive au timpi de înjumătățire care variază într-un domeniu foarte larg. Uraniul, de exemplu, se dezintegrează la jumătate în 4,5 miliarde de ani, radiul în 1 590 de ani, în timp ce jumătate din atomii de RaC′ „mor" într-o zecime de miime dintr-o secundă. Existența celor trei familii radioactive naturale se datorează longevității strămoșilor lor; uraniul I (sau $^{238}_{92}U$), toriul ($1{,}3 \times 10^{10}$

ani) şi „strămoşul" protactiniului (5×10^8 ani)* care sînt comparabile cu vîrsta universului.

Nu există în natură nici o familie de tipul $4n + 1$, deoarece — după cum s-a văzut la producerea acestor nuclee pe cale artificială în reactoarele nucleare — capul familiei are o viaţă considerabil de scurtă şi toţi membrii familiei trebuie să se fi dezintegrat complet de mult.

BARIERELE DE TRECERE

Explicaţia încetinelii cu care se desfăşoară transformările alfa a fost dată, în mod independent, de autorul acestei cărţi — care lucra în acea vreme în Germania — şi de grupurile lui Roland Gurney (Australia) şi Edward Condon (S.U.A.), şi se bazează pe mecanica ondulatorie. S-a arătat că nucleele atomice sînt înconjurate de bariere înalte de forţe electrice, care au fost studiate pentru prima oară în experienţele lui Rutherford asupra împrăştierii particulelor alfa. Cînd o particulă alfa se apropie de nucleu, asupra ei se exercită o repulsie proporţională cu produsul dintre sarcina nucleului (Ze) şi sarcina particulei alfa $(2e)$ împărţit la pătratul distanţei dintre ele. Cînd particula ajunge în contact cu nucleul, forţele de coeziune dintre aceasta şi particulele care formează nucleul o atrag în interior şi o ţin acolo. Curba de potenţial corespunzătoare acestor două feluri de forţe este reprezentată în fig. VIII-3 şi arată ca un meterez sau ca o barieră cu un perete drept în interior şi cu o pantă lină în exterior. Pentru a pătrunde în nucleu, particulele alfa incidente trebuie să se caţăre pînă în vîrful barierei şi apoi să cadă în interiorul nucleului. De asemenea, orice particulă care părăseşte nu-

---

* Protactiniul însuşi are un timp de înjumătăţire de numai 12 000 de ani, însă precursorul familiei actiniului, din care derivă şi protactiniul, printr-o dezintegrare α şi o dezintegrare β are o viaţă de o jumătate de miliard de ani. El nu poartă un nume care să aibă vreo legătură cu genealogia familiei actiniului, dar fiind un izotop al uraniului este denumit U-235. Emiţînd o particulă α, $^{235}_{92}U$ se transformă în $^{231}_{90}UY$ care, printr-o ulterioară dezintegrare β, dă naştere la $^{231}_{91}$ Pa. $^{235}_{92}U$, deşi poartă numele de uraniu, aparţine, de fapt, familiei actiniului (de tipul $4n + 3$) şi este faimosul uraniu „fisionabil" care a făcut posibilă realizarea bombei „atomice" şi a reactoarelor nucleare.

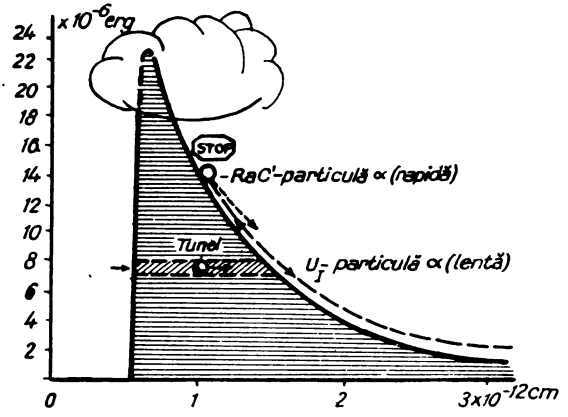


FIG. VIII—3 Bariera de potențial din jurul atomului de uraniu așa cum a fost obținută din experiențele de împrăștiere ale lui Rutherford.

cleul trebuie să se cațere pe peretele interior al barierei și apoi să se rostogolească în jos, pe panta exterioară. Studiind împrăștierea unei particule alfa pe uraniu, Rutherford a găsit că bariera care înconjură nucleul acestui element trebuie să aibă o înălțime de cel puțin 14×10^{-6} erg, deoarece particulele alfa rapide emise de RaC^1 și avînd această energie nu par să dea nici un semn că au ajuns pe vîrf. Pe de altă parte, particulele alfa emise chiar de uraniu au energia de numai 8×10^{-6} erg.

Particulele care ies cu o astfel de energie cum pot să treacă peste o barieră de cîteva ori mai mare? Conform mecanicii clasice, așa ceva este, desigur, absolut imposibil. Dacă construim pe masă o barieră din lemn și dăm drumul unei bile spre ea cu o energie doar pe jumătate din cît ar fi necesar ca bila să ajungă pe vîrf, aceasta se va urca pînă la jumătatea barierei și va veni înapoi. Însă mecanica ondulatorie ajunge la o concluzie cu totul diferită și, ca să o înțelegem, ar fi mai bine să revenim la analogia dintre undele de Broglie și undele de lumină. Din optica geometrică ne este cunoscută noțiunea de „reflexie totală". Dacă o rază de lumină care trece prin sticlă (fig. VIII-4 *a*) cade pe suprafața de separație AB dintre sticlă și aer, sub un unghi de incidență relativ mic, ea va fi refractată atunci

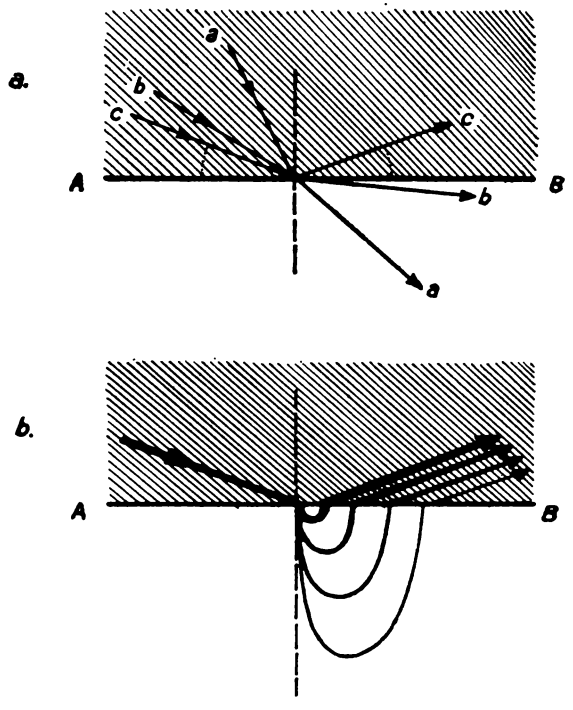


FIG. VIII—4 Reflexia totală, internă, a luminii conform opticii geometrice *(a)* și mecanicii ondulatorii *(b)*.

cînd intră în aer şi noua ei direcţie va fi mai apropiată de suprafaţa AB. Dacă totuşi unghiul de incidenţă este mai mare decît o anumită valoare critică, lumina nu va mai intra în aer, raza fiind reflectată total de suprafaţa de separaţie.

Considerînd acest fenomen din punctul de vedere al naturii ondulatorii a luminii, se ajunge totuşi la o concluzie diferită. Se pare că o parte din lumină *ar trebui* să intre în aer dinspre suprafaţa AB, însă aceste raze nu pătrund prea mult în aer şi sînt întoarse înapoi de straturile de aer a căror grosime este de numai cîteva lungimi de undă. În fig. VIII-4 *b*, în care liniile nu mai sînt raze de lumină, ci reprezintă liniile după care se scurge energia radiantă, se arată cam

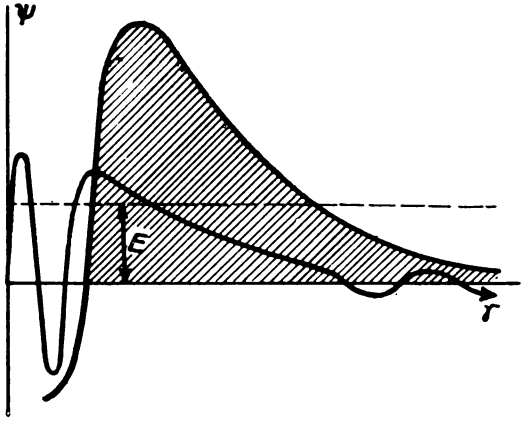


FIG. VIII—5 Pătrunderea, după mecanica ondulatorie, a particulelor alfa prin bariera de potenţial a nucleului.

ce se întîmplă. Dacă se ia o altă bucată de sticlă şi se aşază foarte aproape de suprafaţa AB, o parte din liniile de scurgere, care trec prin aer, vor pătrunde şi în cea de a doua sticlă. Acest fenomen poate fi observat experimental, dacă distanţa dintre interfeţe este egală cu numai cîteva lungimi de undă ale luminii respective (adică cîţiva microni).

Aşa cum optica ondulatorie permite pătrunderea luminii care, după optica geometrică, este complet interzisă, tot aşa mecanica ondulatorie ajută particulele materiale să-şi desfăşoare acţiunile, care ar fi complet imposibile dacă mecanica clasică ar fi corectă sută la sută.

Particulele alfa, care se află în interiorul nucleului, sînt într-o stare de mişcare foarte rapidă, lovindu-se continuu de pereţii barierei de potenţial în interiorul căreia se află. Unda de Broglie, care ghidează mişcarea acestor particule, trece încet prin pereţii barierei, permiţînd particulelor alfa să treacă prin ei, chiar dacă ele nu pot ajunge în vîrf (fig. VIII-5). Penetrabilitatea barierei nucleare de potenţial este extrem de mică şi, de aceea, în cazul nucleului de uraniu, numai o încercare din 10^{38} este reuşită. Deoarece însă o particulă alfa se mişcă într-un spaţiu de numai 10^{-12} cm cu o viteză de 10^9 cm/s, ea loveşte pereţii interiori ai barierei

de 10^{21} ori pe secundă şi deci îi trebuie un timp de $\frac{10^{38}}{10^{21}} = 10^{17}$ s, adică cîteva miliarde de ani, pînă cînd reuşeşte să evadeze. În cazul nucleului de RaC', penetrabilitatea barierei este mai mare, şi anume din 10^{17} încercări una este reuşită. De aceea, timpul de înjumătăţire corespunzător este de $\frac{10^{17}}{10^{21}} = 10^{-4}$ s, aşa cum se şi observă. Pa baza acestei teorii, calculul timpului de înjumătăţire al diferitelor elemente radioactive a dus la rezultate numerice în perfectă concordanţă cu datele experimentale.

S-ar putea, fără doar şi poate, spune că fenomenele mecanicii ondulatorii — de felul celui prezentat mai sus — sînt importante numai în lumea atomilor şi nucleelor. În cazul experienţei descrise mai înainte, în care o bilă se rostogoleşte pe o pantă de lemn cu o viteză insuficientă ca ea să ajungă în vîrf, există totuşi o şansă ca ea să treacă prin bariera de potenţial ca o stafie de modă veche, care trece prin zidurile unui castel, însă dacă se calculează această şansă, se găseşte că este de aproximativ $10^{-10^{27}}$, ceea ce înseamnă un număr care are 10^{27} zerouri după virgula de număr zecimal. Dacă cineva ar vrea să scrie numărul acesta, atunci să ştie că prima cifră semnificativă va apărea în vecinătatea celor mai depărtate galaxii, văzute numai cu telescopul de 200 de ţoli. De aceea nu încercaţi să rostogoliţi bila pe pantă.

STRUCTURA NUCLEARĂ ŞI NEUTRONII

Interpretarea fenomenului de radioactivitate ca o dezintegrare spontană a nucleelor atomice a dus la concluzia că nucleele sînt sisteme mecanice complexe compuse din multe particule constituente. Din faptul că greutăţile atomice ale izotopilor tuturor elementelor sînt reprezentate aproape exact prin numere întregi rezultă că protonii trebuie să se afle printre aceşti componenţi. Însă protonii singuri nu sînt de ajuns. De exemplu, nucleul de carbon, avînd greutatea atomică 12, ar trebui să conţină 12 protoni. Deoarece însă sarcina nucleului de carbon este numai

6, ar trebui să fie prezente alte 6 sarcini negative, şi s-a presupus că aceste sarcini negative ar fi suplinite de 6 electroni care împreună cu cei 12 protoni ar forma nucleul carbon. Totuşi presupunerea prezenţei electronilor în interiorul nucleelor atomice a avut drept urmare dificultăţi foarte serioase din punctul de vedere al teoriei cuantice. Desigur, energiile stărilor cuantice ale unui electron ar creşte foarte repede cu scăderea dimensiunilor regiunii în care este reţinut electronul şi ar fi de aşteptat ca electronii care se mişcă în interiorul nucleelor atomice să aibă energii de miliarde de electronvolţi. Această concluzie simplă a mecanicii cuantice pare foarte ciudată, deoarece asemenea energii mari erau observate în radiaţiile cosmice; energiile implicate în fenomenele nucleare erau de milioane (şi nu miliarde!) de electronvolţi. Cînd Niels Bohr i-a vorbit lui Ernst Rutherford despre „acest fapt real", ei au ajuns la concluzia că singura cale pentru salvarea situaţiei era să se presupună şi existenţa unor *protoni lipsiţi de sarcină*, care au fost denumiţi „neutroni". Adoptînd această presupunere, nu mai era necesar să existe electroni în interiorul nucleului atomic şi, în cazul acesta, compoziţia nucleului de carbon, de exemplu, putea fi exprimată astfel: $^{12}_{6}C$ = = 6 protoni + 6 neutroni.

Pe la mijlocul anilor douăzeci, în Laboratorul Cavendish a fost stabilit un program riguros, care avea drept scop smulgerea acestor „neutroni" ipotetici din interiorul nucleelor unor elemente uşoare, şi în felul acesta să se aducă o dovadă grăitoare despre existenţa lor. Însă rezultatele au fost negative, lucrările în această direcţie au fost suspendate, iar descoperirea neutronilor a fost amînată cu cîţiva ani. Abia în 1932 un student de-al lui Rutherford, J. Chadwick, cercetînd misterioasele radiaţii, extrem de penetrante (observate prima dată de W. Bothe la bombardarea unei ţinte de beriliu cu particule alfa), a arătat că aceste radiaţii sînt de fapt un fascicul de particule neutre cu masa aproape egală cu cea a protonului. Şi deci, după începuturi nereuşite, în cele din urmă neutronul s-a „născut" între pereţii Laboratorului Cavendish.

În timp ce emisia particulelor alfa reprezintă o dezintegrare nucleară care conduce la un nucleu cu o greutate atomică mai mică, emisia radiaţiilor beta nu duce decît la modificarea sarcinii electrice a nucleului atomic rezultat în urma emisiei unei (sau mai multor) particule alfa. În discuţia din paragraful precedent am văzut că nucleul atomic este constituit din protoni şi neutroni şi că în elementele grele, numărul neutronilor depăşeşte numărul protonilor. De exemplu, în $^{226}_{88}$Ra numărul de neutroni este 226—88 = 138, în timp ce numărul de protoni este de numai 88, raportul fiind $\frac{138}{88} = 1{,}568$. Nucleul de $^{222}_{86}$Rn format în urma dezintegrării alfa a radiului are numai 136 de neutroni şi 86 de protoni, iar raportul este de $\frac{136}{86} =$ = 1,581. Astfel, în procesul de dezintegrare alfa, raportul dintre numărul de neutroni şi numărul de protoni creşte, iar după mai multe dezintegrări alfa, el poate deveni mai mare decît ar fi necesar pentru o coexistenţă paşnică între două feluri de particule. În acest caz, un neutron se transformă el însuşi într-un proton prin emisia unui electron negativ sau a unei particule beta. Ar fi de menţionat, aşa cum se vede din tabelul de la p.313, că transformările beta se desfăşoară întotdeauna în perechi. Acest lucru se datoreşte faptului că neutronii şi protonii din nucleu sînt supuşi aceluiaşi principiu al lui Pauli ca şi electronii atomici, iar fiecare nivel cuantic este ocupat doar de doi dintre ei (cu spini opuşi). Astfel, cînd nivelul devine instabil, două particule suferă o transformare beta, una după alta.

În anul 1914, tînărul fizician englez James Chadwick lucra la Universitatea din Berlin sub conducerea cunoscutului fizician german Hans Geiger (inventatorul contorului care-i poartă numele.)El trebuia să studieze spectrul radiaţiilor beta emise de diferite substanţe radioactive, care părea că diferă fundamental de spectrul radiaţiilor alfa şi gamma, deoarece prezenta o distribuţie continuă a energiilor electronilor, cuprinsă între aproape zero şi valori destul de mari (fig. VIII-6). Către sfîrşitul anului în care Chadwick îşi terminase lucrarea şi o trimisese spre

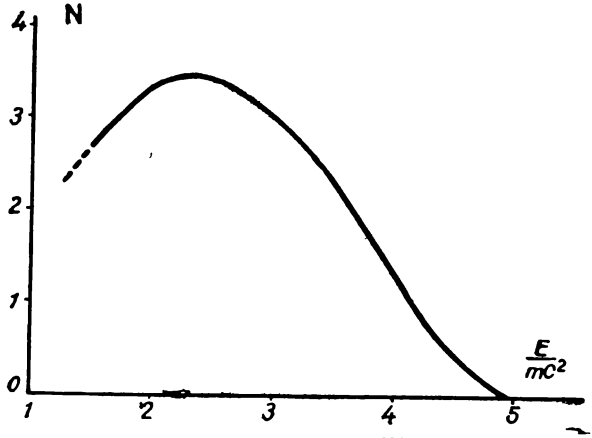


FIG. VIII—6 Spectrul radiației beta a ^{114}In. Numărul (N) de electroni este reprezentată în funcție de energia (E) exprimată în unități mc^2.

publicare a izbucnit primul război mondial. Fiind străin și cetățean al unui stat inamic, Chadwick a fost imediat arestat și trimis într-un lagăr de prizonieri pentru mult timp. Primul an petrecut în lagăr a fost trist, deoarece tînărul și talentatul fizician nu putea să se împrietenească cu ceilalți prizonieri care, în cea mai mare parte, erau oameni de afaceri, voiajori comerciali etc. La un moment dat, după o mare bătălie dată pe undeva prin Franța, și-a făcut apariția în lagăr un nou prizonier. Era C.D. Ellis, un strălucit ofițer din Regimentul de vînători de munte al Maiestății sale (britanice) care fusese capturat pe cîmpul de luptă. Cei doi englezi s-au împrietenit și ca să-și mai omoare timpul, Chadwick a început să-i explice lui Ellis fenomene din fizica nucleară. După terminarea războiului, cînd amîndoi s-au întors în Anglia, Ellis s-a înscris ca aspirant la Universitatea din Cambridge, unde Chadwick era conferențiar. După cîțiva ani Ellis a publicat un articol care cuprindea o valoroasă dezvoltare a lucrării lui Chadwick.

Una dintre explicațiile posibile ale spectrului energetic continuu al radiațiilor beta ar putea fi pierderile de energie suferite de particulele beta în timp ce ies din substanțele radioactive din care iau naștere și care variază într-un do-

meniu foarte larg. Ellis a realizat o experienţă foarte ingenioasă în care toate radiaţiile beta emise de o substanţă radioactivă erau absorbite într-o bucată de plumb, iar căldura produsă era măsurată cu multă atenţie. Rezultatul acestei experienţe a arătat că energia totală eliberată per particulă era exact egală cu energia *medie* a electronilor din spectrul continuu, arătînd în felul acesta că nu aveau loc pierderi de energie în mediul material. Astfel, fizicienii s-au aflat într-o situaţie paradoxală. În timp ce în seriile de transformări radioactive, particulele alfa emise aveau întotdeauna energii bine definite, egale cu diferenţele dintre energiile interne ale nucleelor mamă şi fiică, energiile particulelor beta variau între limite foarte largi. Ce se întîmpla cu diferenţa de energie dintre două nuclee ale aceluiaşi element radioactiv în care unul emitea o particulă beta rapidă, iar celălalt una lentă? Niels Bohr, care era foarte tulburat de această situaţie paradoxală, a mers atît de departe, încît a sugerat că legea conservării energiei nu mai este valabilă în cazul transformărilor radioactive beta şi, în timp ce în cazul emisiei unei particule beta lente o anumită cantitate de energie poate dispărea în aerul rarefiat, în cazul emisiei unei particule beta foarte rapide o cantitate de energie suplimentară s-ar crea din nimic. Conform acestei ipoteze, legea conservării energiei în procesele nucleare elementare ar fi valabilă *numai în medie*, făcînd, în felul acesta, să fie imposibilă construirea unui *perpetuum mobile* de prima speţă (vezi cap. IV), bazat pe procesele de dezintegrare radioactivă.

Wolfgang Pauli, ale cărui concepţii în legătură cu acest subiect erau mult mai conservatoare, a sugerat o alternativă care să echilibreze balanţa energiei în procesele nucleare. El a considerat că ar fi posibil ca emisia unei particule beta să fie întotdeauna însoţită de emisia unei alte „particule misterioase", care să scape observaţiilor şi să ducă cu sine energia necesară echilibrării acestei balanţe. Dacă se presupune că aceşti „hoţi din Bagdad" nucleari nu au sarcină electrică şi au o masă tot aşa de mică sau chiar mai mică decît masa unui electron, ei ar putea, desigur, să scape foarte uşor, cu partea lor de energie, de orice capcane puse în cale de către fizicieni. Pauli le-a dat acestor „hoţi" ipotetici numele de „neutroni". (Aceasta se întîmpla

înainte ca particulele, pe care le numim acum neutroni, să fi fost descoperite de Chadwick în 1932). Însă toate aceste presupuneri ipotetice au rămas de domeniul discuţiilor şi al corespondenţei particulare, iar numele nu a primit „drepturi de autor", nefiind tipărit în vreo revistă ştiinţifică. Cînd, după descoperirea neutronilor (lui Chadwick), Enrico Fermi (fig. VII-15), pe atunci profesor la Universitatea din Roma, prezenta lucrarea lui Chadwick la un seminar, cineva din auditoriu l-a întrebat dacă neutronii lui Chadwick sînt aceleaşi particule despre care vorbea şi Pauli. *No!* — a răspuns Fermi — *le neutrone di Chadwick sonno grande. Le neutrone di Pauli erano piccole; egli devono star chiamato neutrini** (în italiană *neutrino* este un diminutiv al lui *neutrone*).

Deoarece a devenit un obicei ca în această carte să se citeze mici istorioare despre mari fizicieni şi deoarece Enrico Fermi a fost unul dintre cei mai mari fizicieni ai timpului nostru, iată şi o istorioară despre el auzită chiar din gura lui. Pentru primele lui descoperiri din domeniul fizicii, el a fost ales membru al Academiei italiene regale de ştiinţe şi a primit titlul de *Eccellenza* de la Benito Mussolini. O dată îşi conducea micul său Fiat la o întrunire a Academiei la care trebuia să vorbească chiar Mussolini — de aceea poarta care dădea în curtea Academiei era păzită de doi *carabinieri*. Aceştia şi-au încrucişat armele în faţa micului automobil al lui Fermi, întrebîndu-l cine este. „Nu mă vor crede dacă le-aş spune că sînt o *Eccellenza* — gîndi Fermi — deoarece toate *Eccellenzas* arătau mult mai impunătoare şi călătoreau în limuzine mari, conduse de şoferi". Aşa că, zîmbind carabinierilor le-a spus că este şoferul lui *Eccellenza* Fermi. Totul a mers perfect şi ei l-au lăsat să-şi conducă maşina şi să aştepte pînă cînd stăpînul său trebuia să se întoarcă de la întrunire.

Revenind la neutrini, s-ar putea spune că această particulă era de-a dreptul insesizabilă şi multă vreme, încercînd s-o vîneze, fizicianul nuclearist n-a putut să vadă decît pagubele pe care le făcea, dar nu putea să prindă particula însăşi. Abia în 1955, Fred Reines şi Cloyd Cowan

* — „Nu! — a răspuns Fermi — neutronii lui Chadwick sînt mari. Neutronii lui Pauli erau mici; ei vor trebui să se cheme neutrini". *-N.T.*

de la Laboratorul ştiinţific Los Alamos au reuşit s-o captureze. Cea mai intensă sursă de neutrini o constituie reactoarele nucleare în care sînt emise legiuni de neutrini ca rezultat al dezintegrării beta a produselor de fisiune ce se formează în urma reacţiei în lanţ. În timp ce chiar şi cele mai penetrante radiaţii gamma şi cei mai rapizi neutroni sînt practic opriţi de protecţia groasă de beton în care se află reactorul, neutrinii zboară prin această protecţie tot atît de uşor ca şi un roi de ţînţari printr-o plasă de protecţie. Pentru a-i detecta, Reines şi Cowan au aşezat în partea exterioară a protecţiei reactorului un container imens umplut cu hidrogen şi înconjurat de baterii de contoare de particule de diferite tipuri. Se aşteptau ca în urma ciocnirii unui neutrino rapid cu un proton să-i fie smuls acestuia un electron pozitiv şi protonul să se transforme în neutron: $p + \nu \rightarrow n + e^+$; însă probabilitatea acestui proces, estimată teoretic, era extrem de mică. Pentru a detecta procesul, ei s-au folosit de contoare de neutroni şi pozitroni astfel construite, încît ele ar fi dat un semnal numai dacă amîndouă erau ciocnite simultan de către un neutron şi un pozitron. Deoarece probabilitatea de a avea loc o coincidenţă era extrem de mică, o atingere simultană a ambelor contoare ar fi putut să aibă loc numai în urma reacţiei descrise mai sus. Efectuînd experienţa cu reactorul la puterea nominală, ei obţineau mai multe semnale pe minut, dar semnalele scădeau rapid cînd reactorul era oprit. Din observaţiile lor ei au găsit că secţiunea eficace a procesului (o mărime proporţională cu probabilitatea de apariţie a procesului. — *N.T.*), în care un neutrino face ca protonul să se transforme într-un neutron, este de numai 10^{-43} cm^2, ceea ce ar însemna că, dacă vrem să reducem intensitatea fasciculului de neutrini cu factorul doi, ar trebui să utilizăm o protecţie de apă, groasă de cîteva sute de ani-lumină.

Teoria transformării neutron-proton cu emisia unui electron şi a unui neutrino, dezvoltată de Fermi, se află într-o concordanţă excelentă cu datele experimentale referitoare la dezintegrarea beta. Ea a servit, de asemenea, drept prototip pentru toate teoriile de dezintegrare dezvoltate mai tîrziu în legătură cu diferite procese de transformare a particulelor elementare.

De cînd Rutherford a înţeles că fenomenul de radioactivitate reprezintă o transformare spontană a unui element chimic în altul, el a fost stăpînit de dorinţa de a sfărîma nucleul atomic al unui anumit element stabil şi de a-l transforma într-un alt element, realizînd astfel un vechi vis al alchimiştilor. Cînd a izbucnit primul război mondial, în 1914, Amiralitatea britanică i-a cerut lui Rutherford să transforme Laboratorul Cavendish, unde fusese numit de curînd director, într-o instituţie de cercetări pentru război, în care să dezvolte metode de luptă antisubmarin împotriva navelor germane de tip U. Rutherford a refuzat, argumentînd că el va realiza un lucru mult mai important de pe urma sfărîmării nucleului atomic. Este adevărat că aceste cercetări ale lui Rutherford au netezit drumul spre realizarea celor mai puternice arme de război cu două tăişuri, bomba atomică şi bomba cu hidrogen, însă nu este adevărat că Rutherford ar fi întrezărit aceste perspective. De fapt, cu puţin înainte de moartea sa, în 1937, Rutherford a avut o discuţie foarte aprinsă cu fizicianul maghiar Leo Szillard despre posibilitatea eliberării energiei nucleare pe scară largă, susţinînd că aşa ceva nu se va realiza niciodată.

Pentru a demonstra punctul său de vedere, Szillard s-a dus la Oficiul de patente, unde a înregistrat pe numele său patentul privind dezvoltarea reacţiilor nucleare pe scară largă. Trei ani mai tîrziu a fost descoperită fisiunea nucleului de uraniu, şi apoi, peste încă şase ani, prima bombă atomică a explodat deasupra Hiroshimei, ducînd la încheierea celui de al doilea război mondial. Fără îndoială că Rutherford, aşezat pe un nor eteric şi ascultînd muzica harpelor, lua aminte la cele ce se întîmplau şi cu siguranţă că bătrînul gîndea în sinea lui: „Ce-o fi asta? Acum aceşti... băieţi folosesc descoperirile mele ca să se ucidă unul pe altul!"

Dar, întorcîndu-ne în anul 1919, vom vedea ce a făcut Rutherford în legătură cu sfărîmarea nucleului. Deoarece bariera de respingere coulombiană, care înconjură nucleul atomic, devine din ce în ce mai mare cu cît se merge mai departe în sistemul periodic al elementelor al lui Mendeleev, cel mai potrivit lucru ar fi să se bombardeze nucleele mai uşoare. De asemenea, este mai potrivit să se utilizeze parti-

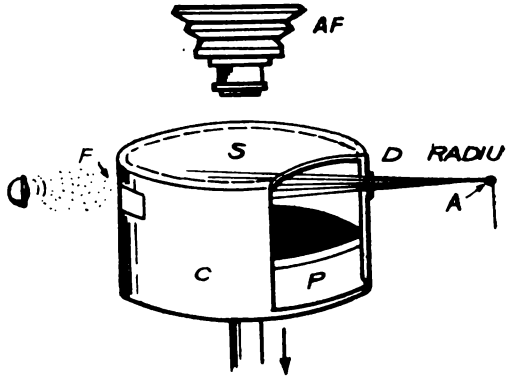


FIG. VIII—7 Schema camerei cu ceaţă a lui C.T.R. Wilson.

cule alfa de mare energie din dezintegrările rapide ale elementelor radioactive decît particule alfa mai lente. De aceea, pentru primele sale încercări Rutherford s-a hotărît să bombardeze nucleele gazului azot cu particule alfa de la RaC' şi a observat, spre marea lui satisfacţie, că în afară de numeroasele particule alfa împrăştiate de nucleele de azot existau şi cîteva particule rapide de alt gen pe care Rutherford le-a identificat drept protoni. Primele observaţii ale lui Rutherford au fost făcute cu ajutorul metodei scintilatorului, însă la scurtă vreme după aceasta, studiul transformărilor nucleare a fost considerabil facilitat de utilizarea unei strălucite invenţii, camera Wilson sau camera cu ceaţă, a lui C.T.R. Wilson, ale cărui studii au fost menţionate în capitolul precedent în legătură cu experienţele lui J.J. Thomson. Această invenţie se bazează pe faptul că ori de cîte ori o particulă încărcată electric care se mişcă rapid trece prin aer (sau prin orice alt gaz), ea ionizează mediul respectiv de-a lungul traiectoriei ei. Dacă aerul prin care trec aceste particule este saturat cu vapori de apă, ionii astfel produşi servesc drept centri de condensare pentru micile picături de apă şi vom vedea urme lungi şi subţiri de ceaţă care se întind de-a lungul traiectoriilor particulelor. Schema camerei cu ceaţă este arătată în fig. VIII-7. Ea constă dintr-un cilindru de metal, *C*, care are deasupra o sticlă transparentă *S*, şi un piston, *P*, a cărui suprafaţă este colorată în negru. Aerul dintre piston

şi sticla de deasupra este, iniţial, complet saturat cu vapori de apă şi este puternic luminat de către o sursă de lumină, *L*, printr-o fereastră laterală, *F*. Să presupunem acum că avem o mică cantitate de substanţă radioactivă pe vîrful acului *A*, aflat în apropierea deschizăturii *D*.

Particulele emise de atomii radioactivi vor zbura prin cameră, ionizînd aerul în drumul lor. Totuşi, deoarece aerul nu este pe deplin saturat cu vapori de apă, nu are loc condensarea, şi ionii pozitivi şi negativi produşi la trecerea particulelor se recombină rapid în molecule neutre. Să presupunem însă, că pistonul este tras rapid în jos la o anumită distanţă. Detenţa aerului cuprins între piston şi sticla de sus va scădea temperatura aerului, ceea ce va provoca condensarea vaporilor de apă la fel cum se formează şi norii ca rezultat al ridicării curenţilor de aer umed în atmosfera terestră. Însă, deoarece condensarea vaporilor de apă este considerabil uşurată de prezenţa ionilor produşi de particulele încărcate care trec prin cameră în acel moment, formarea ceţii se va produce de-a lungul traiectoriei particulelor, şi liniile de ceaţă subţiri se vor observa clar pe fondul negru, atunci cînd sînt luminate cu un fascicul de lumină. O astfel de imagine poate fi văzută direct privind prin sticla de deasupra sau fotografiind cu ajutorul aparatului fotografic, *AF*.

În planşa *V*, *sus*, vedem prima fotografie a unei dezintegrări nucleare artificiale făcute, în 1925, de un student al lui Rutherford, P.M.S. Blackett. Numeroasele linii traiectorii, care diverg dintr-un punct situat în afara marginii fotografiei se datoresc particulelor alfa, care vin de la substanţa radioactivă plasată în acel loc. Această substanţă reprezintă un amestec de RaC şi RaC', care s-a format din RaC printr-un proces de transformare alfa. Particulele alfa din RaC se mişcă mult mai încet şi sînt oprite de stratul de aer cam pe la mijlocul fotografiei. Particulele alfa din RaC' sînt printre cele mai rapide particule emise de elementele radioactive, ele pot străbate straturi groase de aer şi, cum se vede, traiectoria lor se termină spre capătul de sus al fotografiei. Cam pe la mijloc, în partea de jos a fotografiei, vedem o furcă, datorită transformării nucleului de azot în urma ciocnirii cu o particulă alfa. Urma lungă şi subţire, care merge spre stînga, aparţine unui proton smuls din nucleu, în timp ce urma groasă, care merge în jos, s-a dovedit

că aparţine unui nucleu rapid de oxigen. Transformarea alchimică ce a avut loc poate fi exprimată prin formula:

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H},$$

unde, conform convenţiei, indicii de jos reprezintă numărul atomic, iar cei de sus greutatea atomică. Atomul $^{17}_{8}\mathrm{O}$ este cel mai greu izotop al oxigenului obişnuit $^{16}_{8}\mathrm{O}$ şi se găseşte, în mici cantităţi, în aerul atmosferic. Măsurînd energiile lui $^{1}_{1}\mathrm{H}$ şi $^{17}_{8}\mathrm{O}$, produşi în această reacţie, ceea ce se poate face pe baza lungimii traiectoriilor lor, se găseşte că suma lor este mai mică decît energia iniţială a particulei alfa iniţială cu o cantitate egală cu 1,26 MeV. Combinînd masele din ambele părţi ale reacţiei de mai sus, găsim:

$$^{4}_{2}\mathrm{He} = 4{,}003\ 88 + \qquad ^{1}_{1}\mathrm{H} = 1{,}008\ 13 +$$

$$^{14}_{7}\mathrm{N} = \frac{14{,}007\ 55}{18{,}011\ 43} \qquad ^{17}_{8}\mathrm{O} = \frac{17{,}004\ 53}{18{,}012\ 66}$$

Deci, în acest caz, bilanţul energetic este negativ, şi anume —0,001 25 unităţi, ceea ce este echivalent cu —1,16 MeV. Această valoare concordă, în limita erorilor experimentale, cu valoarea citată mai înainte pentru pierderea de energie în reacţie. Măsurătorile de acest gen au reprezentat primele verificări experimentale directe ale legii lui Einstein asupra echivalenţei dintre energie şi masă. Totuşi, în această reacţie, energia nu este eliberată, ci pierdută. În alte cazuri, de exemplu, la bombardarea cu particule alfa a aluminiului, se cîştigă considerabile cantităţi de energie nucleară.

Deoarece particulele alfa sînt singurele proiectile grele emise de elementele radioactive naturale, primele lucrări asupra transformărilor nucleare artificiale au fost limitate doar la acest tip de reacţii. În 1929, autorul acestei cărţi, lucrînd împreună cu Lord Rutherford la Cambridge, a calculat, pe baza teoriei barierei de potenţial, că protonii ar fi nişte proiectile mult mai bune, atît din cauza sarcinii lor electrice mai mici, cît şi a masei lor mai mici. Calculele au arătat că, de fapt, protonii accelerați de un potenţial electric de un milion de volţi şi mişcîndu-se cu o energie de cîteva ori mai mică decît particulele alfa provenite de la RaC', ar produce dezintegrări observabile la nucleele uşoare. Rutherford le-a cerut studenţilor săi, J. Cockcroft (ulterior Sir John)

şi E.T.S. Walton, să construiască o maşină de înaltă tensiune care să producă un fascicul de protoni de o astfel de energie, şi astfel, primul „spărgător de nuclee" a intrat în funcţiune în 1931. Îndreptînd fasciculul de protoni spre o ţintă de litiu, Cockcroft şi Walton au arătat că la fiecare ciocnire reuşită se produceau două noi particule alfa, care zburau în direcţii opuse de la punctul de ciocnire. Reacţia evidentă care avea loc era:
$^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \rightarrow 2{}^{4}_{2}He$. Înlocuind litiul cu bor, ei au observat trei furci (vezi planşa V, jos), ceea ce arată că, dacă este ciocnit de un proton, nucleul atomic se sfărîmă în trei fragmente egale:

$$^{11}_{5}B + {}^{1}_{1}H \rightarrow 3{}^{4}_{2}He.$$

Lucrările de pionierat ale lui Cockcroft şi Walton au fost urmate de dezvoltarea unor acceleratori de particule din ce în ce mai mari, bazaţi pe un număr foarte variat de principii ingenioase.

Un alt fel de spărgător de atomi este Van de Graaff-ul, denumit astfel după numele inventatorului; el se bazează pe un simplu principiu din electrostatică, după care o sarcină electrică transportată, printr-o fantă, în interiorul unei sfere metalice goale, va fi distribuită pe suprafaţa ei externă.

Desigur, repulsia reciprocă dintre electroni îi va duce cît mai departe posibil unul de altul. Maşina lui Van de Graaff se compune din sfere metalice izolate, de mari dimensiuni, şi dintr-o curea care circulă şi care este încărcată pe partea ei dinafară şi descărcată atunci cînd intră în interiorul sferei. Deşi tensiunile electrice care pot fi produse de maşina Van de Graaff se limitează la cîteva milioane de volţi, aceste maşini au ajuns să fie compuse din aparate şi instalaţii compacte, foarte potrivite pentru orice lucrare de laborator.

Un alt instrument pentru accelerarea particulelor nucleare, cu mult mai ingenios, a fost realizat de Ernest Orlando Lawrence, al cărui nume îl poartă astăzi Laboratorul Universităţii din California (unde a lucrat. -*N.T.*).

Aparatul se bazează pe un principiu complet diferit şi utilizează accelerarea multiplă a particulelor încărcate care se mişcă pe un cerc într-un cîmp magnetic.

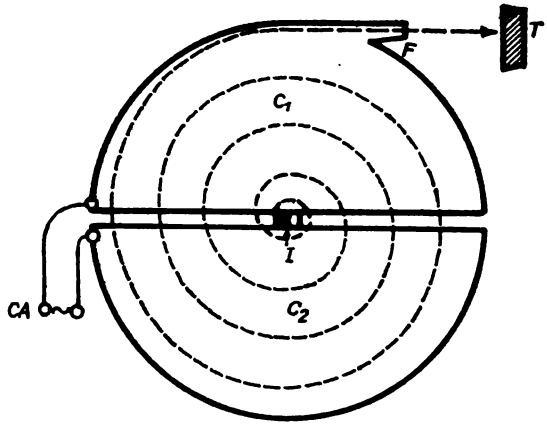


FIG. VIII—8 Principiul ciclotronului.

Principiul ciclotronului este prezentat în fig. VIII-8. Părţile lui principale sînt: o cameră de metal cilindrică tăiată în două jumătăţi C_1 şi C_2, şi plasată între polii unui electromagnet foarte puternic. Jumătăţile de cameră (sau duanţii. -*N.T.*) C_1 şi C_2 sînt conectate la o sursă de înaltă tensiune alternativă, CA, astfel încît cîmpul electric să-şi schimbe periodic sensul în lungul tăieturii care le separă. Ionii elementului care trebuie folosiţi drept proiectile atomice sînt injectaţi în centrul cutiei I şi au o viteză relativ mică. Traiectoriile lor sînt curbate de către cîmpul magnetic sub formă de cercuri mici. Caracteristic pentru ciclotron este faptul că, pentru un cîmp magnetic dat, perioada de revoluţie a unei particule încărcate electric pe traiectoria ei circulară este independentă de viteza cu care se mişcă această particulă. Într-adevăr, creşterea razei, ca şi a lungimii traiectoriei circulare este direct proporţională cu creşterea vitezei, timpul necesar pentru o revoluţie rămînînd acelaşi.

Dacă lucrurile sînt astfel aranjate, încît perioada de revoluţie a ionilor injectaţi în cîmpul magnetic să fie egală cu perioada tensiunii alternative produse de sursa CA, particulele care ajung la spaţiul dintre cei doi duanţi, C_1 şi C_2, vor fi supuse, de fiecare dată, unei forţe electrice care acţionează în acelaşi sens în care se mişcă particulele. În felul

acesta, de fiecare dată cînd ionul trece prin acest interval, el va primi o accelerare suplimentară şi viteza lui va creşte treptat. Crescîndu-le viteza, ionii se vor mişca pe o traiectorie care se desfăşoară pe o spirală şi vor fi, în cele din urmă, ejectaţi prin fereastra *F*, în direcţia ţintei *T*.

Fotografia de pe planşa VI, *sus*, reprezintă ciclotronul în curs de construcţie la Universitatea din Colorado care a fost proiectat să producă fascicule de protoni de aproximativ 30 MeV*. Partea de sus a marelui electromagnet, ca şi suportul fasciculului, pot fi văzute foarte clar. Bevatronul Universităţii din California (partea de jos a planşei VI) şi cosmotronul de la Long Island sînt dezvoltări ulterioare ale principiului ciclotronului.

Atunci cînd descriu rezultatele experienţelor lor în legătură cu transformările nucleare provocate prin bombardarea diferitelor substanţe cu proiectile nucleare rapide, fizicienii se folosesc întotdeauna de noţiunea de „secţiune eficace" sau, simplu, „secţiune". Pentru a înţelege această noţiune, să considerăm cazul unei baterii antiaeriene care încearcă să doboare nava spaţială inamică ce se apropie de locul unde se află ea. Dacă inamicul a fost atît de prost, încît să trimită un zepelin (fig. VIII-9 *a*), orice lovitură care îl va atinge îi va fi fatală şi „secţiunea eficace" va fi egală cu secţiunea geometrică a navei. În cazul unui avion (fig. VIII-9*b*), schijele care l-ar atinge ar putea lovi diferite părţi fără să-l „doboare". Există numai puţine părţi, de exemplu, capul şi corpul pilotului, părţile esenţiale ale motorului şi sistemul de comandă care trebuie lovite pentru a doborî avionul. Aria, în profil, combinată, a acestor părţi este cunoscută sub numele de „secţiune eficace" şi poate fi considerabil mai mică decît obiectul însuşi. Astfel, de exemplu, „secţiunea eficace de ucidere" a lui Ahile era limitată la numai cîţiva centimetri pătraţi pe călcîiul piciorului său stîng.

Considerînd probabilităţile de distrugere, fie a unui avion inamic, fie a unui nucleu atomic, sîntem interesaţi să cu-

* Ciclotronul Universităţii Colorado, de tipul cu energie variabilă şi pentru particule multiple, mai poate accelera, pe lîngă protoni (30 MeV.), deuteroni (20 MeV.) şi particule alfa (40 MeV). -*N.T.*

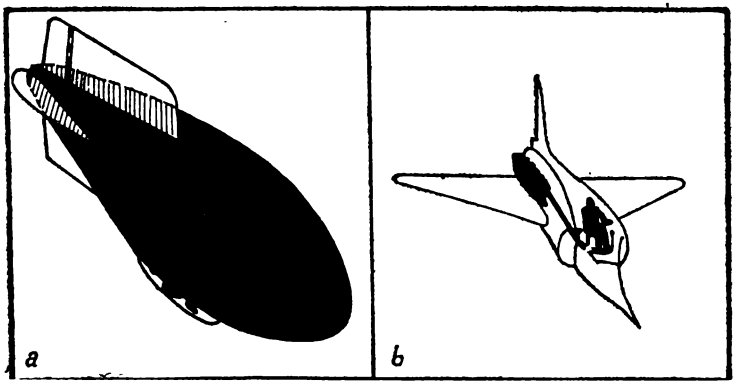


FIG. VIII—9 „Secţiunea eficace de distrugere" *(suprafaţa neagră)* a unui zepelin *(a)* şi a unui avion *(b)* — presupunînd rezervoarele de benzină complet separate.

noaştem numai aria în secţiune care trebuie să fie atinsă, şi nu neapărat poziţia exactă a locurilor sensibile. Situaţia este similară cu aceea a doi oameni care duelează, unul fiind foarte slab, iar celălalt foarte gras. Cel gras obiectează că situaţia este dezavantajoasă pentru el, deoarece expune o suprafaţă de ţintă pentru gloanţele de pistol mult mai mare decît adversarul său. „Ei, bine", răspunde cel slab, „cere martorului dumitale să deseneze cu creta silueta mea pe hainele pe care le porţi şi loviturile dinafara liniei nu le vom lua în considerare".

Raza unui nucleu atomic este de ordinul a 10^{-12} cm, astfel încît secţiunea sa eficace geometrică este de aproximativ 10^{-24} cm^2. Secţiunea eficace egală cu 10^{-24} cm^2 este cunoscută sub numele de „barn" (ceea ce înseamnă şură -*N.T.*), deoarece este foarte mare şi dacă nucleul este spart de fiecare dată cînd este lovit, secţiunea eficace este de aproximativ un barn. Dacă, totuşi, dintr-un motiv sau altul, apare o distrugere, să zicem la o sută de lovituri, spunem că secţiunea eficace este 0,01 barni sau 10^{-26} cm^2.

În cele ce urmează cititorul va găsi exemple în care secţiunile eficace ale proceselor de bombardare nucleare respective sînt încă şi mai mici.

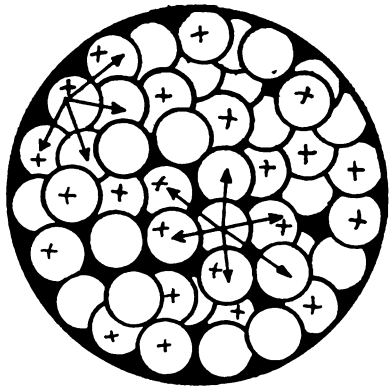


FIG. VIII—10 Nucleul atomic compus din protoni şi neutroni. Cei din interior nu suferă acţiunea forţei, pe cînd cei de pe suprafaţă sînt împinşi spre interior.

STRUCTURA NUCLEARĂ ŞI STABILITATEA

În timp ce electronii atomici zboară liberi prin spaţiu, menţinînd distanţele, care sînt de cîteva mii de ori mai mari decît diametrele lor, protonii şi neutronii care formează nucleele atomice sînt îngrămădiţi la un loc, ca heringii într-un butoi (fig. VIII-10). Astfel, în cazul atomului, putem vorbi, despre o atmosferă electronică avînd multe din proprietăţile unui gaz obişnuit, cîtă vreme materiei nucleului, fiind mai compactă, i se potriveşte mai bine comparaţia cu o picătură de lichid în care moleculele sînt ţinute la un loc de forţele de coeziune. Acest „model al picăturii" al nucleului a fost propus de autorul acestei cărţi cam cu treizeci de ani în urmă, permiţîndu-ne să înţelegem multe dintre proprietăţile nucleare. În primul rînd, deşi gazele sînt uşor compresibile datorită faptului că spaţiul dintre particule este foarte mare, lichidele îşi schimbă volumul foarte puţin, indiferent cît este de mare presiunea la care sînt supuse. Şi, desigur, aşa cum am văzut mai înainte, cînd parcurgem sistemul lui Mendeleev, volumul atomilor rămîne neschimbat, avînd din ce în ce mai mulţi electroni înghesuiţi pe orbite cuantice de diametre din ce în ce mai mici. Pe de altă parte, măsurătorile arată că raza nucleului atomic creşte

direct proporţional cu rădăcina cubică a masei, astfel încît volumul creşte direct proporţional cu masa, iar densitatea rămîne constantă. Densitatea acestui fluid nuclear, ale cărui picături formează nuclee atomice, depăşeşte densitatea apei cu un factor de 10^{14} şi un degetar umplut cu un astfel de fluid ar cîntări cinci mii de milioane de tone!

Ca orice lichid, fluidul nuclear prezintă fenomenul de tensiune superficială, deoarece nucleonii care se află la suprafaţă sînt împinşi în spre interior de forţele de coeziune ale celorlalţi nucleoni, tinzînd în felul acesta să reducă mărimea suprafeţei la minimum. Dar, la fel ca şi în cazul densităţii, tensiunea superficială a fluidului nuclear este considerabil mai mare decît cea a fluidelor obişnuite. Dacă facem o peliculă de săpun pe o ramă de sîrmă în formă de U, care să aibă şi o parte de sîrmă dreaptă ce se poate deplasa, forţa tensiunii superficiale care acţionează asupra sîrmei mobile va putea să suporte, pe toată lungimea ei, o greutate de aproximativ 70 mg/cm. Dacă am face acelaşi lucru cu fluidul nuclear, forţa ar fi de zece miliarde de tone. Din cauza tensiunii superficiale, nucleele atomice au o formă aproape sferică, la fel ca picăturile de ploaie şi probabil că vibraţiile şi rotaţiile acestor picături mici provoacă emisia de radiaţii gamma ale nucleelor excitate.

Fizicianul american John Wheeler, de la Princeton, a arătat că fluidul nuclear nu se află numai sub formă de mici sfere, ci, în principiu, poate să aibă diferite forme. Cauza, în acest caz, ar fi faptul că în afară de forţele de coeziune nucleară există şi forţe coulombiene de repulsie între sarcinile pozitive ale protonilor. Wheeler a arătat, într-o lucrare nepublicată, că existenţa acestor forţe repulsive dintre sarcinile pozitive, permite fluidului atomic să ia forma unui colac. De fapt, în acest caz, forţelor de tensiune superficială care tind să transforme colacul în sferă li se vor opune forţele electrice de repulsie dintre părţile care se află faţă în faţă, şi întreaga configuraţie devine perfect stabilă. Astfel de nuclee în formă de colac, care ar fi considerabil mai mari decît nucleele de uraniu, avînd o greutate atomică de mai multe mii, vor fi înconjurate de electroni care se vor mişca foarte aproape de suprafaţa lor pe traiectorii asemănătoare înfăşurării unui electromagnet circular (vezi fig. V-11).

Nuclee în formă de colac, de felul descris mai sus, nu există în natură, şi este greu să credem că ele ar putea fi realizate în viitor nici chiar de către cel mai ingenios fizician nuclearist. Dar dacă ei ar fi realizaţi, a precizat Wheeler, am putea să-i folosim drept verigi pentru a face un lanţ. Firele făcute din astfel de lanţuri nucleare vor fi extrem de tari şi, dacă ar fi tot atît de subţiri ca firul de păianjen, ar putea susţine greutatea unor nave de război. Însă ar fi foarte grele; un astfel de fir, cu o lungime de un yard, ar cîntări aproximativ 1 000 t.

Se pare că nucleele în formă de colac ale lui Wheeler nu vor găsi aplicaţii practice, dar formele nucleare simple guvernate de aceleaşi două feluri de forţe deschid pentru noi era energiei atomice. Să considerăm balanţa dintre energia tensiunii superficiale şi energia electrică dintr-un nucleu atomic. Energia superficială totală, fiind proporţională cu suprafaţa, creşte cu atît mai mult cu cît nucleele devin mai mari. Deoarece densitatea fluidului nuclear rămîne constantă, volumul său este proporţional cu masa (greutatea atomică), iar raza, cu rădăcina cubică a masei. În felul acesta, energia superficială totală, fiind proporţională cu suprafaţa, creşte cu pătratul rădăcinii cubice a masei sau, cu alte cuvinte, este proporţională cu masa la puterea două treimi. Pentru a calcula energia coulombiană trebuie să utilizăm o lege din electrostatică care arată că energia unui corp sferic încărcat cu electricitate este direct proporţională cu pătratul sarcinii şi invers proporţională cu raza sa. Sarcina electrică nucleară este dată de numărul său atomic, care este aproximativ proporţional cu greutatea atomică. Amintind că raza variază proporţional cu rădăcina cubică a greutăţii atomice, găsim că energia coulombiană creşte aproximativ cu greutatea atomică la puterea $1\frac{2}{3}$. Această creştere este mai mare decît cea a energiei tensiunii superficiale şi putem conchide că, în timp ce la nucleele uşoare, forţele de respingere electrostatică pot să joace un rol mai puţin însemnat, la nucleele grele, ele devin destul de importante. Deoarece forţele de tensiune superficială tind să reţină picăturile de lichid la un loc şi să contopească două picături care ajung în contact şi să le transforme într-o singură picătură mai mare, ar fi de aşteptat ca, în cazul elementelor uşoare, să se elibereze

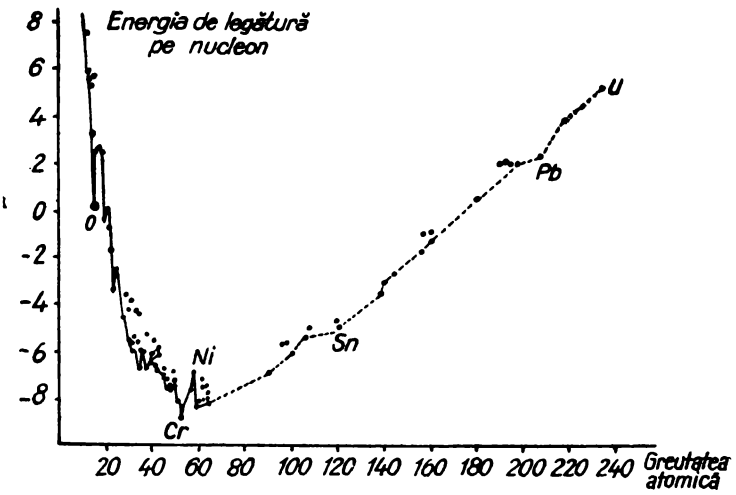


FIG. VIII—11 Energia de legătură pe nucleon, în funcţie de greutatea atomică.

energie în procesele de fuziune nucleară. Pe de altă parte, în cazul nucleelor grele, forţele coulombiene de respingere au prioritate, iar fisiunea nucleară devine un proces cu eliberare de energie. Calculele arată că „regiunea de fuziune" se extinde pînă la aproximativ o treime din sistemul lui Mendeleev, unde cu cît ne apropiem de limită, energia eliberată aşteptată este din ce în ce mai mică. „Regiunea de fisiune" care începe în acest punct, corespunde la început unei energii eliberate destul de mici, dar care creşte rapid, atingînd valorile cele mai mari pentru elementele cele mai grele. În felul acesta, fiecare element chimic reprezintă o sursă potenţială de energie nucleară; rămîne de rezolvat doar problema cum să începi reacţiile nucleare şi cum să le întreţii.

Modelul picăturii de lichid al nucleelor atomice reprezintă o foarte mare aproximaţie faţă de realitate, însă nu trebuie să uităm că protonii şi neutronii din interiorul nucleului sînt supuşi aceloraşi legi cuantice ca şi electronii din atom, ceea ce trebuie să ducă la anumite abateri de la imaginea simplificată dată mai sus. Şi, desigur, astfel de abateri pot fi găsite în studiile mai detaliate asupra proprietăţilor nucleare. În fig. VIII-11 se arată variaţia energiei de legă-

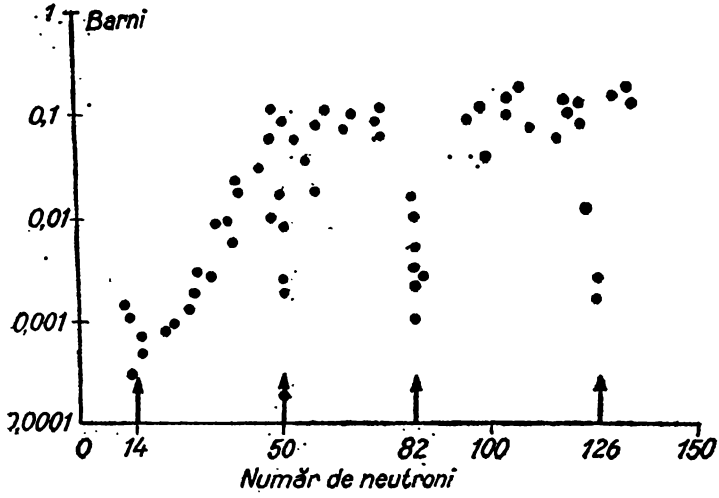


FIG. VIII—12 Secţiunea eficace de captură a neutronilor, în funcţie de numărul de neutroni din nucleu.

tură pe nucleon pentru întregul domeniu de nuclee, de la cele mai uşoare pînă la cele mai grele. Se poate observa o descreştere regulată a energiei de legătură în prima parte a graficului şi o creştere lentă mai departe; aceasta corespunde regiunilor de fuziune şi fisiune. Se observă totuşi că graficul nu este o curbă netedă şi că există un număr oarecare de vîrfuri mai mici care indică o legătură anormal de puternică între nucleoni. Acestea corespund unor nuclee în care păturile de nucleoni sînt complete şi sînt oarecum analoge cazurilor în care păturile electronice din atomi sînt complete. În cazul atomilor, elementele cu pături electronice complete (gazele nobile) sînt chimic inactive, deoarece sînt „complet" satisfăcute cu grupul lor de electroni. Un efect similar, în cazul nucleelor, este prezentat în fig. VIII-12, care reprezintă probabilităţile relative pentru ca un neutron incident să fie capturat de nucleele diferitelor elemente. Pentru anumite numere de neutroni prezenţi în nucleu (50, 82, 126) probabilitatea de a captura un alt neutron scade brusc, indicînd că aceste nuclee conţin pături neutronice complete. Studiul acestora şi al multor altor neregularităţi în proprietăţile

nucleare ne duce la concluzia că păturile interne, legate puternic, se formează ori de cîte ori numărul, fie al neutronilor, fie al protonilor, este egal cu unul dintre următoarele numere: 2, 8, 14, 20, 28, 50, 82 şi 126. Ar mai fi de menţionat totuşi că, în timp ce la atomi fiecare nouă pătură electronică se află înafara celei anterioare, ducînd astfel la o structură asemănătoare unei cepe, păturile neutronice şi protonice din nuclee se întrepătrund, fiecare ocupînd întregul volum nuclear. Această lipsă de distincţie geometrică între păturile nucleonice face ca efectul lor să fie mai puţin pronunţat şi mai dificil de studiat şi de explicat. Această dificultate a fost depăşită totuşi simultan şi independent de către Maria Goepert Meyer, la Chicago şi Hans Jensen, la Heidelberg, care au reuşit să construiască un sistem complet de pături nucleare ce sînt în perfectă concordanţă cu faptele observate. Cînd s-au întîlnit pentru a-şi compara rezultatele, ei au aflat că amîndoi sînt născuţi în aceeaşi zi şi în acelaşi an, şi aşa au devenit foarte buni prieteni*.

REACŢII DE FISIUNE ÎN LANŢ

La 27 ianuarie 1939, la Washington, Universitatea George Washington (unde autorul preda în acea vreme) şi Institutul Carnegie din Washington, au organizat în comun o conferinţă restrînsă de fizică teoretică. În ziua aceea, Niels Bohr, una dintre personalităţile de seamă printre participanţii la conferinţă, a primit o scrisoare de la fiziciana germană Lise Meitner care, pe atunci (din cauza lui Hitler), lucra la Stockholm. Ea spunea că a primit o scrisoare din partea colegului ei, Otto Hahn, din Berlin, prin care o informa că el şi asistentul său, Fritz Strassman, bombardînd uraniul cu neutroni, au constatat prezenţa bariului, un element care se află cam pe la jumătatea sistemului lui Mendeleev, în partea de jos. Meitner şi nepotul ei, Otto Frisch (observaţi că în treaba aceasta se află amestecaţi doi Otto!), care a însoţit-o la Stockholm, s-au gîndit că acest rezultat s-ar putea datora fisiunii, adică spargerii în două părţi a nucleului de uraniu ciocnit de un neutron. Imediat ce Bohr a citit telegrama

* M.G. Meyer şi F. Jensen au fost distinşi cu Premiul Nobel pentru lucrările lor în domeniul structurii nucleului. -*N.T.*

participanţilor, discuţiile s-au deplasat de la subiectele, nu prea interesante, ale conferinţei, la argumentări aprinse în legătură cu problema dacă fisiunea nucleului de uraniu ar putea să conducă la eliberarea pe o scară largă a energiei nucleare. Enrico Fermi, care, de asemenea, lua parte la conferinţă, a ieşit la tablă şi a scris cîteva formule, referitoare la procesul de fisiune. Un corespondent al unui ziar din Washington, care aţipise, fericit, în timpul primei părţi a conferinţei, s-a trezit şi a început să ia note, însă Merle Tuve, un fizician nuclearist de la Institutul Carnegie l-a scos repede afară, spunîndu-i că discuţiile erau prea tehnice pentru ca el să le poată înţelege. Acesta a fost primul pas în problemele de securitate care, apoi, s-au impus foarte repede în legătură cu dezvoltarea „energiei atomice". Dar ceea ce auzise reporterul înainte de a fi scos afară a apărut publicat în ziare şi, în dimineaţa următoare, autorul acestei cărţi a fost trezit de telefonul lui Robert Oppenheimer din California, care dorea să afle despre ce era vorba. Acesta a fost începutul.

Articolul lui Niels Bohr şi John Wheeler asupra fisiunii nucleare apărut în septembrie 1939 în „The Physical Review" a fost primul şi ultimul articol în legătură cu acest subiect, publicat înainte ca perdeaua de securitate să cadă complet şi se baza pe modelul nuclear al picăturii, discutat mai sus. Cînd nucleul, lovit de neutronul incident, începe să vibreze, trecînd printr-un şir de forme alungite, echilibrul dintre forţele de tensiune superficială şi cele electrice se strică; forţele de tensiune tind să reducă nucleul la forma sa sferică iniţială, în timp ce forţele electrice fac să crească alungirea. Dacă raportul dintre axa mare şi axa mică a elipsoidului depăşeşte o anumită limită, se produce o scindare de-a lungul planului ecuatorial şi nucleul se desface în două jumătăţi (fig. VIII-13). La scurtă vreme după aceea s-a arătat că fisiunea nucleului de uraniu este însoţită de emiterea unei perechi de neutroni (mai exact 2,5 neutroni), care, la rîndul lor, pot să ciocnească alte nuclee din vecinătate şi să le spargă. Aceasta ar duce la apariţia altor patru neutroni care ar produce fisiunea altor patru nuclee. În felul acesta s-ar desfăşura o reacţie care ar înghiţi cu repeziciune întreaga masă a uraniului, ducînd la eliberarea unei cantităţi enorme de energie.

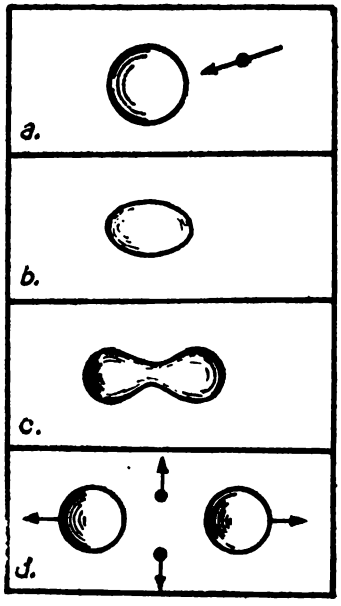


FIG. VIII—13 Fisiunea unui nucleu greu în urma ciocnirii cu un neutron.

Este foarte dificil să scrii despre ceea ce se numeşte în mod obişnuit „energia atomică". La început, cînd aproape toate faptele şi datele erau ascunse în spatele unei grele cortine de securitate, nu era posibil să se scrie ceva despre acest subiect. Acum însă, cînd există o informaţie bogată în nenumărate cărţi, şi în articole de reviste şi de ziare, subiectul este şters şi banal. În afară de aceasta, deşi fisiunea nucleului de uraniu poate fi considerată ca un paragraf foarte interesant (însă numai un paragraf) din istoria fizicii, realizarea bombelor atomice, a reactoarelor şi a fertilizatorilor (obţinerea de substanţe fisionabile din substanţe sau izotopi nefisionabili, de exemplu, obţinerea plutoniului din uraniu-238 prin capturarea unui neutron. -*N.T.*) aparţin, mai degrabă domeniului tehnologiei. Aşadar, în afară de reproducerea (în planşa VII) a două foarte frumoase fotografii (mai ales dacă ar fi fost în culori), a unei bombe atomice şi a unui

reactor (de tip piscină), în cele ce urmează nu vor fi discutate decît cîteva lucruri esenţiale.

Mai întîi a apărut un lucru foarte neplăcut — încă pe vremea conferinţei de la Washington, despre care a fost vorba mai înainte — , şi anume că nu izotopul principal al uraniului este acela care prezintă fenomenul de fisiune, ci izotopul foarte rar ^{235}U care se află într-o proporţie de numai 0,7%. În afară de aceasta, izotopul principal ^{238}U, care constituie restul de 99,3% din uraniul natural nu este un component chiar atît de inofensiv, pentru că are un mare apetit pentru neutroni, pe care îi capturează cu o asemenea viteză, încît stinge orice reacţie în lanţ care ar putea fi cumva iniţiată în ^{235}U. Existau numai două moduri de a face faţă situaţiei: fie să se separe ^{235}U de izotopul vătămător ^{238}U, fie să se încerce, printr-un mijloc oarecare, să se păstreze reacţia în uraniul natural, încercînd ca lacomul ^{238}U să fie ţinut la distanţă de prada sa.

Au fost încercate ambele metode. Într-o uzină ţinută în mare secret, de la Oak Ridge, Tennessee, au fost investigate metodele de separare a izotopilor uraniului şi, în cele din urmă, producţia a fost axată pe metoda difuziei, bazată pe faptul că acei compuşi ai uraniului care conţineau izotopul mai uşor difuzează ceva mai rapid prin membrane poroase decît cei care conţineau izotopul mai greu.

Metodele necesare pentru a face ca reacţia să se desfăşoare în uraniul natural au fost născocite în special de Enrico Fermi şi se bazează pe principiul moderării. S-a constatat că izotopul greu al uraniului are un mare apetit pentru neutroni relativ rapizi, în timp ce izotopul mai uşor îi preferă pe cei foarte lenţi. Deoarece neutronii emişi la fisiunea nucleului de uraniu au viteze foarte mari, va trebui să-i încetinim pînă cînd vor ajunge la nivelul apetitului lui ^{235}U, însă suficient de repede ca ei să nu fie înghiţiţi de ^{238}U. Aceasta s-ar putea realiza dacă se amestecă uraniul natural cu o mare cantitate din aşa-numitul „moderator", adică un element ai cărui atomi să nu aibă de loc apetit pentru nici un fel de neutroni şi să preia o parte din energia cinetică a neutronilor prin procese de ciocnire. Doi dintre cei mai buni moderatori s-au dovedit a fi atomii de deuteriu (izotopul greu al hidrogenului) şi atomii de carbon, care au dus la realizarea a două tipuri de reactoare nucleare (cu

grafit şi cu apă grea), care în momentul de faţă se află în funcţiune. Primul reactor atomic, utilizînd drept moderator carbonul (sub forma unor cărămizi de grafit) şi construit sub directa supravegherere a lui Fermi sub tribunele marelui stadion al Universităţii din Chicago, a început să funcţioneze la 2 decembrie 1941. Desigur, reacţiile în lanţ din reactoarele cu moderatori se dezvoltă încet şi energia produsă nu poate fi utilizată nici în scopuri militare, nici în scopuri paşnice (în ultimii ani reactoarele nucleare cu moderatori sînt utilizate din ce în ce mai mult pentru producerea de energie, propulsarea navelor etc. — *N.T.)* Există totuşi şi o şmecherie la mijloc! În timp ce reacţia în lanţ are loc în nucleele de ^{235}U, o parte dintre neutroni sînt înghiţiţi de nucleele flămînde de ^{238}U, care datorită moderatorului au fost lipsite de la un adevărat ospăţ al lui Lucullus.* Ce s-a întîmplat cu ^{238}U după ce a înghiţit un neutron, se arată în şirul de ecuaţii alchimice scrise mai jos:

$$^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{239}_{92}U + \gamma,$$

$$^{239}_{92}U \rightarrow {}^{239}_{93}Np + \bar{e},$$

$$^{239}_{93}Np \rightarrow {}^{239}_{94}Pu + \bar{e}.$$

Np şi Pu sînt simbolurile chimice ale *neptuniului* şi *plutoniului*, cele două „elemente transuraniene" produse în reactoarele nucleare. În timp ce neptuniul este numai o stare tranzitorie în acest proces, plutoniul este într-adevăr cineva! El are aceleaşi proprietăţi ca şi ^{235}U, dar mult mai accentuate. Se sparge mai uşor atunci cînd este lovit de un neutron, iar fisiunea lui este însoţită de un număr mai mare de neutroni secundari. Şi, ceea ce este, desigur, cel mai important, plutoniul, avînd proprietăţi chimice complet diferite de ale uraniului, poate fi separat mai uşor (vorbă să fie) de restul de uraniu, cînd procesul de ardere din reactor s-a terminat.

* Lucullus, Lucius Licinius, general roman (109—57 î.e.n.) căruia i-a mers reputaţia pentru luxul şi bogăţia sa extraordinară, şi căruia îi plăcea, mai ales, nespus de mult să mănînce şi să fie servit cu mult fast chiar şi atunci cînd nu avea oaspeţi. -*N.T.*

În toate discuţiile referitoare la reacţia în lanţ de fisiune cea mai importantă noţiune este aceea de *dimensiune critică*. Cînd are loc un singur proces de fisiune în interiorul unei probe de ^{235}U pur sau de ^{239}Pu, sînt emişi mai mulţi neutroni de fisiune (în medie 2,5 pentru uraniu şi 2,9 pentru plutoniu) din punctul în care fisiunea nucleară a avut loc. Distanţa medie pe care un neutron de fisiune trebuie să o străbată prin această materie pentru a ajunge într-un alt nucleu este de aproximativ 10 cm, astfel încît, dacă mărimea probei respective este mai mică decît această valoare, majoritatea neutronilor de fisiune vor trece prin probă şi vor zbura în afară înainte de a avea şansa să provoace o altă fisiune şi astfel să dea naştere la alţi neutroni. În felul acesta nu se poate dezvolta o reacţie în lanţ progresivă dacă mărimea probei este prea mică. Avînd probe din ce în ce mai mari, se constată că tot mai mulţi neutroni de fisiune, produşi în interiorul ei, au şansa să provoace alte fisiuni, prin ciocnirea cu un nucleu, înainte de a ieşi afară prin suprafaţă; pentru probe de mărime potrivită, numărul neutronilor de fisiune care produc o altă fisiune în interiorul probei devine suficient de mare pentru a produce o viteză de reacţie care să crească repede în timp. Mărimea probei unui material fisionabil dat, pentru care procentajul de neutroni care dă naştere proceselor de fisiune succesive este destul de mare ca să asigure o reacţie în lanţ progresivă, este cunoscută sub numele de *dimensiune critică* a acestui material fisionabil. Deoarece numărul de neutroni per fisiune este mai mare în cazul plutoniului decît în cazul izotopului ^{235}U, dimensiunile critice pentru plutoniu sînt mai mici decît pentru ^{235}U, deoarece primul poate să permită pierderi mai mari de neutroni prin suprafaţă.

Pentru a produce o explozie nucleară trebuie să construim un eşantion de material fisionabil cu mult supracritic, într-o perioadă de timp care să fie destul de scurtă pentru a nu permite dezvoltarea unei reacţii în lanţ cu o energie considerabilă. Putem face aceasta, de exemplu, prin proiectarea unei mase subcritice într-o altă masă subcritică, cu o viteză destul de mare ca reacţia în lanţ să nu se dezvolte într-o măsură mult mai mare decît atunci cînd a fost

realizat „ansamblul" complet. Există, de asemenea, multe metode ingenioase de a obține acest rezultat (dar toate sînt secrete).

Dacă dorim să realizăm o reacție de fisiune în lanț, dar în condiții controlabile pentru a o utiliza în scopul producerii de energie, materialul fisionabil trebuie ținut tot timpul cît se poate de aproape de dimensiunile critice.

Nu trebuie să pierdem niciodată din vedere că o reacție nucleară în lanț este prin însăși natura ei explozivă și că orice încercare de a o face să se desfășoare într-o stare staționară este comparabilă cu menținerea unui cuptor încins utilizînd drept combustibil TNT. Însă, de fapt, lucrul acesta poate fi făcut cu o probabilitate foarte mică de nereușită și poate fi realizat cu ajutorul „barelor de control". Acestea sînt făcute din materiale absorbante de neutroni (de exemplu, borul), împinse automat înăuntru sau în afară prin niște canale foarte înguste tăiate prin materialul fisionabil, după cum producerea de neutroni coboară sau depășește nivelul dorit.

Reactoarele nucleare sînt utilizate cu succes ca producătoare de energie în țările care duc lipsă de cărbune sau de petrol (de exemplu, Marea Britanie), ca și pentru propulsarea vapoarelor, de exemplu, submarinele „atomice", în S.U.A. și spărgătoarele de gheață „atomice", în U.R.S.S.

REACȚII TERMONUCLEARE

De secole, astronomii și fizicienii s-au întrebat, minunîndu-se, ce dă atîta strălucire Soarelui (și altor stele). Bineînțeles că o „ardere" obișnuită nu poate fi suficientă în acest scop, deoarece chiar dacă materia din Soare ar fi cea mai bună benzină de avion, ea nu ar fi ținut mai mult timp decît cel scurs între perioada piramidelor egiptene și pînă în zilele noastre. Cam cu o sută de ani mai înainte, Herman von Helmholtz, în Germania și Lord Kelvin, în Anglia au sugerat ideea că Soarele și-ar menține radiațiile lui de lumină și căldură, datorită ușoarei sale contracții. Calculele au arătat că contracția Soarelui de la o mărime inițială foarte mare la diametrul actual ar elibera o energie suficientă pentru a menține emisia radiației sale timp de cîteva sute de milioane de ani. Dar cele mai recente esti-

mări ale vîrstei sistemului solar au arătat că chiar şi această mare valoare nu este destul de mare şi că, probabil, Soarele străluceşte de cel puţin cîteva miliarde de ani. Singura modalitate de a explica o astfel de longevitate a Soarelui era să se presupună că el îşi obţine energia dintr-un anumit fel de transformare nucleară şi, în 1929, astronomul englez Robert Atkinson şi fizicianul austriac Fritz Houtermans şi-au unit eforturile pentru a vedea dacă lucrul acesta ar putea fi adevărat. Ideea lor era că ciocnirile termice dintre atomii din interiorul fierbinte al Soarelui pot provoca anumite reacţii nucleare care se desfăşoară suficient de rapid pentru a constitui sursa necesară de energie. Studiile astronomului englez Sir Arthur Eddington au arătat că temperatura din interiorul Soarelui trebuie să fie cam de 20 000 000°, ceea ce corespunde unei energii de mişcare termică de aproximativ 4×10^{-9} erg/particulă. Această energie este de cîteva sute de ori mai mică decît energia proiectilelor atomice utilizate în experienţele obişnuite de transformare a elementelor; însă trebuie să mai ţinem seama de faptul că, în timp ce proiectilele nucleare accelerate îşi pierd rapid energia lor iniţială şi au numai o mică şansă ca să lovească nucleul ţintă înainte de a ieşi din joc, mişcarea termică continuă indefinit, iar particulele implicate se ciocnesc unele de altele pentru o perioadă nelimitată de timp.

Utilizînd teoria, din mecanica ondulatorie, asupra pătrunderii prin bariere nucleare de potenţial, teorie dezvoltată doar cu un an mai înainte, Houtermans şi Atkinson au reuşit să arate că la temperaturile şi densităţile care există în interiorul Soarelui, reacţiile termonucleare dintre nucleele de hidrogen (protoni) şi cele ale altor elemente uşoare ar putea elibera o cantitate de energie suficientă, care să corespundă radiaţiei observate a Soarelui. Această teorie a fost propusă înaintea experienţelor lui Cockcroft şi Walton asupra transformării artificiale a elementelor provocate de bombardări cu protoni şi nu existau decît foarte puţine informaţii despre ceea ce se întîmplă cînd diferite nuclee uşoare sînt ciocnite de protoni. Houtermans şi Atkinson au propus, în acest timp, că trebuie să existe un anumit nucleu uşor care să aibă proprietatea de a captura protoni şi de a-l reţine în interior o perioadă de timp foarte lungă. După ce este capturat şi al patrulea proton, se formează o parti-

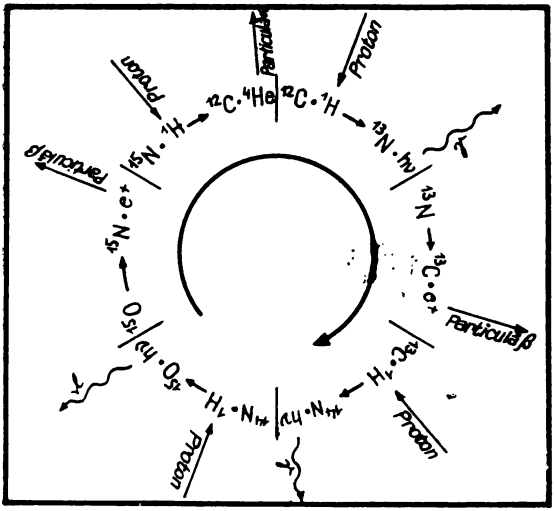


FIG. VIII—14 Ciclul carbonului responsabil de producerea energiei termonucleare în stele.

culă alfa în interiorul nucleului „capcană de protoni", şi emisia ei ar elibera o mare cantitate de energie nucleară. Ei şi-au intitulat în mod semnificativ articolul, publicat în revista germană „Zeitschrift für Physick", *Cum s-ar putea găti nucleele de heliu într-o oală de potenţial?**. Titlul a fost schimbat, însă cu altul mai convenţional, de către editorul revistei, care nu avea simţul umorului.

Cam zece ani mai tîrziu, cînd s-a acumulat suficient material informativ referitor la ciocnirea nucleelor uşoare cu protoni, „nucleul capcană de protoni" al lui Atkinson şi Houtermans a fost identificat cu cel al carbonului.

Hans Bethe, în S.U.A. şi Carl von Weizsacker, în Germania, au propus, în mod independent unul de altul, aşanumitul *ciclu al carbonului*, prezentat în fig. VIII-14. În aceste serii de reacţii nucleare, nucleul de carbon capturează patru protoni consecutiv şi, după transformarea a doi dintre ei în neutroni, se emite o particulă alfa.

* Titlul în limba germană este: *„Wie kan man ein Heliumkern in ein Potentialtopf kochen?"*

Perioada totală a ciclului este de şase milioane de ani, iar energia eliberată în timpul proceselor este de aproximativ 4×10^{-5} erg. Deoarece, conform datelor actuale privind compoziţia chimică a Soarelui, fiecare gram de materie solară conţine aproximativ 0,0001 g de carbon (5×10^{18} atomi de carbon), viteza eliberării energiei în ciclul carbonului ajunge pînă la 1 erg/g·s., ceea ce ar reprezenta abia 1% din viteza cu care se produce energia în interiorul Soarelui.

Charles Critchfield, pe atunci aspirant la Universitatea George Washington, a propus, cam în acelaşi timp, un alt proces. Ideea lui era că dacă într-o ciocnire dintre doi protoni, unul dintre protoni se transformă într-un neutron prin emisia unui electron pozitiv, atunci se poate forma un nucleu de deuteriu (izotopul greu al hidrogenului).

Prin reacţii succesive deuteriul poate fi transformat în heliu şi astfel ajunge la acelaşi capăt ca şi în ciclul carbonului, însă mult mai repede. Reacţiile implicate în acest aşa-numit proces H—H, sînt:

$$ {}_1^1\mathrm{H} + {}_1^1\mathrm{H} \rightarrow {}_1^2\mathrm{D} + e^+ + \nu, $$

$$ {}_1^2\mathrm{D} + {}_1^1\mathrm{H} \rightarrow {}_2^3\mathrm{He} + \gamma, $$

$$ {}_2^3\mathrm{He} + {}_2^3\mathrm{He} \rightarrow {}_2^4\mathrm{He} + 2\,{}_1^1\mathrm{H}. $$

La temperatura de 20 000 000°, această reacţie durează 3×10^9 ani şi eliberează 4×10^{-5} erg pe proton.

Deoarece hidrogenul constituie aproximativ jumătate din materia solară (2×10^{23} atomi/g) viteza totală de eliberare a energiei este de aproximativ 100 erg/g·s în bună concordanţă cu valoarea observată.

Preponderenţa reacţiei H-H în Soare faţă de ciclul C nu constituie totuşi o regulă generală şi în multe stele ea este tocmai contrară, din cauză că aceste cicluri de reacţii termonucleare au o dependenţă diferită de temperatură, astfel, în timp ce viteza ciclului C este proporţională cu T^{17}, reacţia H-H are o dependenţă de temperatură de forma T^4. În felul acesta, în stele mai strălucitoare decît Soarele, de exemplu, Sirius, care au o temperatură centrală mai înaltă, ciclul C este preponderent faţă de ciclul H-H. Pe de altă parte, în stelele mai stinse decît Soarele — şi majoritatea

stelelor aparţin acestei clase — producerea de energie este datorată în întregime reacţiei H-H.

Cititorul va fi foarte surprins dacă el (sau ea) va încerca să compare viteza de producere a energiei în interiorul Soarelui cu viteza cu care se produce căldura într-un aparat electric obişnuit, de exemplu, într-un ibric electric. Astfel, 100 erg/g·s echivalează cu aproximativ 2×10^{-5} cal/g·s şi trebuie 5×10^7s, sau un an şi jumătate pentru a aduce 1 g de apă rece pînă la punctul de fierbere cu o astfel de sursă de căldură! În felul acesta, utilizînd un ibric electric în care sistemul de încălzire ar funcţiona cu aceeaşi eficacitate ca şi reacţiile termonucleare din interiorul Soarelui, am avea de aşteptat cîţiva ani pînă cînd ar fierbe apa, asigurînd, bineînţeles, o izolare perfectă a ibricului în aşa fel, încît să nu existe pierderi de căldură.

Motivul pentru care Soarele este atît de fierbinte, în ciuda acestei viteze mizerabile de generare a căldurii, îl constituie faptul că Soarele este foarte mare. De fapt, producerea totală de căldură este proporţională cu volumul (adică cu R^3), în timp ce pierderile de căldură sînt proporţionale cu suprafaţa (adică cu R^2); corpurile foarte mari ajung să fie foarte fierbinţi, chiar dacă viteza de producere a căldurii pe unitatea de volum în interiorul lor este foarte mică.

Din discuţia de mai sus rezultă clar că nici ciclul C, nici reacţia H-H, care alimentează cu energie stelele ce luminează universul nostru, nu sînt adecvate pentru ambiţiosul *Homo sapiens* care vrea să utilizeze energia nucleară pentru propriile lui scopuri.

Cheia pentru soluţionarea acestei probleme este dată de izotopul greu al hidrogenului, deuteriul ${}_1^2D$, descoperit de chimistul american Harold Urey, şi de izotopul încă şi mai greu, tritiul ${}_1^3T$. Deuteriul se găseşte în natură — deşi în proporţii cam mici — şi anume, 3000 de molecule de apă conţin un atom de deuteriu. Datorită însă dezvoltării metodelor de separare a izotopilor, costul deuteriului a scăzut de la valoarea ridicată a parfumului franţuzesc la valoarea scăzută a whisky-ului, şi există destul în apa oceanelor. Tritiul, fiind un izotop instabil, nu există în natură (cu excepţia unor cantităţi neglijabil de mici produse în atmosferă de radiaţiile cosmice) şi poate fi obţinut la un preţ foarte ridicat în reactoarele nucleare. El este prea costisi-

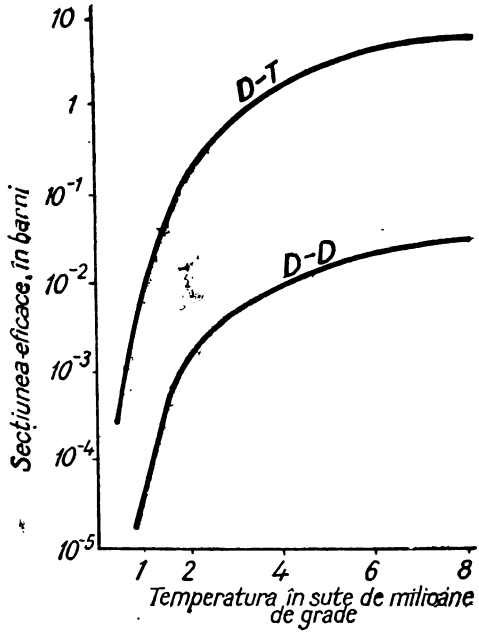


FIG. VIII—15 Secțiunile eficace pentru reacțiile D-D și D-T în funcție de energia lor termică, exprimată în grade absolute de temperatură.

tor pentru a fi folosit drept combustibil principal, însă este util ca „focos nuclear" pentru declanșarea reacției termonucleare în deuteriu.

Reacțiile posibile între izotopii grei ai hidrogenului sînt:

$$^{2}_{1}\mathrm{D} + {}^{2}_{1}\mathrm{D} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n + 3{,}25 \text{ MeV},$$

$$^{2}_{1}\mathrm{D} + {}^{2}_{1}\mathrm{D} \rightarrow {}^{3}_{1}\mathrm{T} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} + 4 \text{ MeV},$$

$$^{2}_{1}\mathrm{D} + {}^{3}_{1}\mathrm{T} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n + 17{,}6 \text{ MeV},$$

iar secțiunile lor eficace, calculate pe baza teoriei efectului tunel, sînt prezentate grafic în fig.VIII-15. De aceea, singurul lucru care trebuie făcut pentru a produce reacții termonucleare între izotopii grei ai hidrogenului este să-i încălzim pînă la o temperatură de cîteva sute de milioane de grade.

Oamenii de ştiinţă de la Los Alamos au reuşit să realizeze lucrul acesta la 1 noiembrie 1952, cînd au făcut să explodeze prima bombă termonucleară pe insula de corali Elugelab din Oceanul Pacific, transformînd insula într-un crater cu apă lat de aproximativ o milă şi adînc cam de 200 de picioare. Acest rezultat a fost obţinut prin comprimarea şi încălzirea unei cantităţi potrivite de hidrogen greu în urma exploziei unei puternice bombe atomice.

Situaţia devine totuşi mult mai complicată, dacă vrem să realizăm reacţii termonucleare controlate şi să utilizăm energia eliberată în scopuri constructive şi nu distructive.

Bineînţeles că, în acest caz, condiţiile fizice în care reacţiile termonucleare au loc trebuie să fie foarte schimbate. Înainte de toate, reacţia trebuie să se desfăşoare la densităţi extrem de mici, pentru a evita presiuni prea mari de gaz care ar putea să apară la temperaturi de cîteva sute de milioane de grade. De fapt, la temperatura şi densitatea aerului atmosferic, gazul deuteric va dezvolta o presiune de aproximativ 100 de milioane de livre pe ţol pătrat şi nu există nici un fel de container care să-l ţină la un loc. Graficul din fig. VIII-16 prezintă viteza de producere a energiei termonucleare pentru deuteriu pur şi pentru un amestec deuteriu-tritiu, la diferite densităţi de gaz. Observăm că pentru a atinge o viteză de producere a energiei de aproximativ 100 W/ cm^3, valoare comparabilă cu cea dată de reactoarele de fisiune, densitatea deuteriului ar trebui să fie cam a zecea mia parte din densitatea aerului atmosferic, ceea ce ar corespunde celui mai bun vid care poate fi realizat în laboratoarele noastre. A doua problemă este cum să se ţină gazul fierbinte şi rarefiat la distanţă de pereţii containerului, pentru că, altfel, procesul de conducere a căldurii prin pereţi va reduce rapid temperatura deuteriului sub valoarea minimă cerută de reacţiile termonucleare.

Lucrul acesta poate fi realizat în diferite feluri, toate însă bazate în mod esenţial pe utilizarea unor cîmpuri magnetice puternice. La temperaturile foarte mari, necesare în acest caz, gazul deuteriu din tub va fi complet ionizat şi se va compune în întregime din electroni încărcaţi negativ şi din deuteroni încărcaţi pozitiv. (Această stare a materiei poartă numele de „plasmă".)

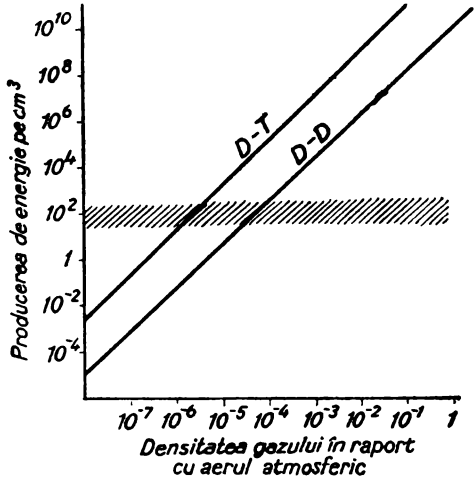


FIG. VIII—16 Viteza de producere a energiei pentru densităţi variabile de gaz la temperatura de 7×10^9°K (cam de două ori temperatura din interiorul Soarelui). Banda haşurată reprezintă producerea de energie în reactoarele cu uraniu şi plutoniu.

Ştim că atunci cînd o particulă încărcată electric se mişcă într-un cîmp magnetic, ea suferă acţiunea unei forţe perpendiculare atît pe direcţia ei de mişcare, cît şi pe direcţia cîmpului. Această forţă obligă particulele să se mişte pe o spirală de-a lungul direcţiei liniilor magnetice, aşa cum se arată în fig. VIII-17*a*. În felul acesta, prin formarea unui cîmp magnetic axial intens în tub, putem împiedica efectiv deuteronii şi tritonii liberi să ajungă în apropierea pereţilor.

Dacă lucrul acesta poate fi realizat, se aşteaptă ca din ciocnirile dintre particulele care se mişcă în spitală de-a lungul tubului să rezulte reacţii D—D sau D—T cu eliberare de energie nucleară şi a unei mari cantităţi de neutroni. Desigur, pentru a declanşa un astfel de proces, gazul din tub trebuie să fie mai întîi încălzit la o temperatură foarte înaltă printr-un mijloc exterior oarecare.

O altă posibilitate constă în folosirea forţelor magnetice care apar în urma unor descărcări electrice, scurte dar pu-

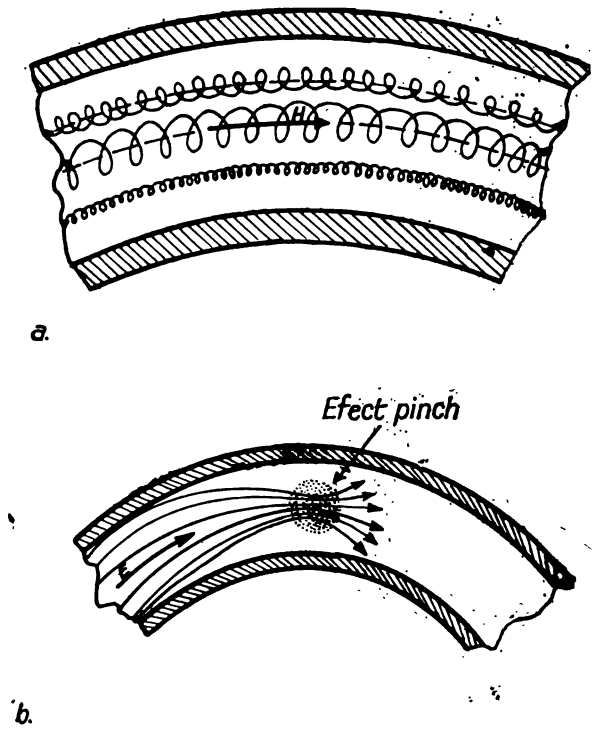


FIG. VIII — 17 Cele două metode mai importante care se studiază acum în vederea realizării reacţiilor termonucleare controlate. „Stellaratorul" de la Princeton şi „Perhapsotronul" de la Los Alamos.

ternice, în tub. Se ştie că doi curenţi electrici paraleli, care se scurg în aceeaşi direcţie, se atrag datorită cîmpurilor magnetice, astfel încît, în cazul unui curent suficient de puternic, gazul (sau mai bine zis plasma) din interiorul tubului va avea tendinţa să se depărteze de pereţi şi să se strîngă într-un fascicul îngust de-a lungul axei.

Cum acţionează acest aşa-numit „efect pinch" se poate înţelege urmărind fig. VIII—17 *b*. Spre deosebire de prima metodă descrisă mai înainte, aparatul bazat pe efectul pinch acţionează prin mişcări bruşte, ca şi motorul de automobil, însă are avantajul că gazul din tub este încălzit

în mod automat prin descărcarea electrică şi nu mai este nevoie de nici un fel de încălzire dinafară. S-a apreciat că un curent electric de cîteva mii de amperi, care durează cîteva microsecunde, va produce un „pinch" destul de puternic pentru a produce o reacţie termonucleară în deuteriu.

Cercetări în direcţiile descrise mai sus se efectuează, în momentul de faţă, în multe laboratoare din lume şi este cu totul posibil ca problema reacţiilor termonucleare controlate să poată fi rezolvată.

MEZONII ŞI HIPERONII

Pe la începutul anilor treizeci, fizicienii erau fericiţi pentru că nu cunoşteau decît cîteva particule din care era făcută materia. Protoni şi nucleoni pentru nucleele atomice, electroni pentru învelişurile atomice, şi ei, bine! neutrino, această problemă — copil al acestei perioade. Însă în 1932 a apărut un articol, scris de fizicianul japonez Hidekei Yukawa, care a dat multă bătaie de cap celor care s-au ocupat cu natura forţelor nucleare de coeziune. Yukawa a sugerat ideea că aceste forţe s-ar datora unei noi particule care este continuu schimbată între protoni şi neutroni. Este foarte dificil, dacă nu chiar imposibil, să descriem într-un mod simplu complicata noţiune de „forţă de schimb". Probabil că cea mai simplă cale ar fi să ne imaginăm doi cîini flămînzi cu un ciolan suculent pe care fiecare caută să-l înhaţe unul altuia ca să rupă cîte o bucată. Acest ciolan gustos trece mereu din botul unui cîine în botul celuilalt şi, în cele din urmă, lupta va avea drept urmare faptul că cei doi cîini devin inseparabil legaţi. Ideea lui Yukawa era că forţele de atracţie dintre nucleoni se datoresc unei lupte similare pentru dobîndirea acestei gustoase şi noi particule. Ea poate fi sau neutră din punct de vedere electric, sau cu o sarcină electrică pozitivă sau negativă, iar procesul de schimb în aceste cazuri va avea un aspect similar celui arătat în fig. VIII-18.

Yukawa a arătat că dacă se iau în considerare proprietăţile observate ale forţelor nucleare, atunci trebuie să se presupună că această nouă particulă are o masă intermediară între masa unui proton şi masa unui electron, fiind cam

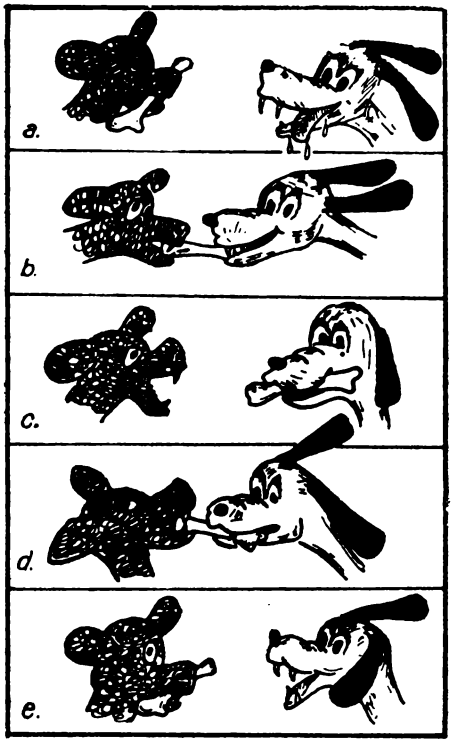


FIG. VIII—18 Schimbul unui mezon (os) între doi nucleoni.

de zece ori mai uşoară decît cel dintîi şi de 200 de ori mai grea decît cel din urmă. Nimeni nu credea în existenţa acestor particule, care erau denumite provizoriu „yukoni", pînă cînd, după cîţiva ani, un fizician de la Cal. Tech*., Carl Anderson, a descoperit prezenţa unor particule cu o astfel de masă, încărcate electric atît cu sarcini pozitive, cît şi negative, în radiaţia cosmică care ajunge pe Pămînt, venind din păturile superioare ale atmosferei.

După descoperirea sa, numele noii particule a avut de urmat mai multe stagii de evoluţie. Uneori era denumită

* Cal. Tech. este denumirea prescurtată şi aproape unanim folosită pentru California Institute of Technology. -*N.T.*

„electron greu", alteori „proton uşor" şi, de aceea, cineva a sugerat numele de *„mezotron"*, derivat din cuvîntul grecesc *mesos* (μεσος), care înseamnă „între". Dar tatăl lui Werner Heisenberg, care era profesor de limbi clasice, a obiectat că literele „tr" nu-şi au locul în acest cuvînt. Într-adevăr, în timp ce „electron" era derivat din cuvîntul grecesc *electra* (care înseamnă „chihlimbar"), cuvîntul grecesc *mesos* nu conţine litera „tr". Şi astfel, în ciuda protestului unui fizician francez, care nu dorea ca numele noii particule să fie confundat cu *maison* (care în franceză, înseamnă „casă") numele particulei lui Yukawa, a rămas „mezon".

Chiar de la începutul începutului, mezonii au dat multă bătaie de cap fizicienilor, deoarece se părea că ceva nu era în regulă cu absorbţia lor în aerul din atmosferă. Pentru particulele cu o energie atît de mare (mai multe miliarde de electronvolţi) se aşteaptă ca absorbţia în diferite materiale să depindă numai de cantitatea totală (masa) de substanţă pe care acestea o străbat. Într-adevăr, deoarece la aceste energii toţi electronii atomici cu care se ciocnesc aceste particule rapide pot fi consideraţi liberi (vezi discuţia despre efectul Compton), are importanţă numai numărul de electroni, nu şi modul cum sînt legaţi ei de diferitele nuclee atomice. Şi deci, dacă măsurăm intensitatea fasciculului de radiaţii cosmice pe vîrful unui munte înalt şi la baza lui, scăderea intensităţii trebuie să fie determinată numai de *greutatea* coloanei de aer care se întinde pe verticală, de la partea cea mai de jos pînă la vîrful muntelui unde s-au făcut măsurătorile. Dacă diferenţa presiunii barometrice între cele două poziţii este, să spunem, de 100 mm Hg rezultă că greutatea coloanei de aer este egală cu greutatea unei coloane de mercur înaltă de 100 mm, şi, de aceea, absorbţia radiaţiilor cosmice într-un strat de mercur de 100 mm grosime trebuie să fie aceeaşi ca şi absorbţia în aer între vîrful şi baza muntelui. Această regulă, care se pare că este valabilă pentru electronii din radiaţiile cosmice, pare a nu fi respectată şi în cazul particulelor nou descoperite.

O importantă experienţă în legătură cu aceste probleme a fost făcută în 1940 de Bruno Rossi *şi alţii* la lacul Echo (situat la înălţimea de 3 240 m), nu departe de vîrful muntelui Evans, în apropiere de Denver (acesta se află la alti-

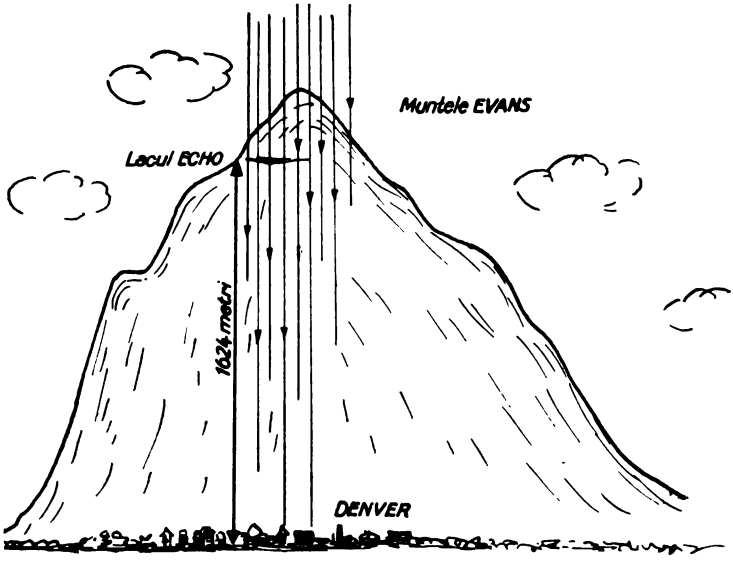


FIG. VIII—19 Dezintegrarea mezonilor, în zbor, de la lacul Echo la Denver.

tudinea de 1 616 m) (fig.VIII-19); diferența dintre presiunile barometrice ale celor două localități era de 14,5 mm Hg sau, ceea ce este același lucru, 2 m de apă. El s-a folosit de două contoare identice pentru mezoni — unul la Denver și altul pe munte, acesta din urmă fiind cufundat în apa lacului la 2 m de suprafață*. Deoarece apa lacului ar produce, în cazul acesta, aceeași absorbție ca și stratul de aer cuprins între poziția lacului și străzile din Denver, se aștepta ca ambele contoare să dea același rezultat. Totuși experiența nu a confirmat așteptările, deoarece contorul din Denver arăta în mod sistematic un număr mai mic de mezoni. Singura explicație posibilă era că trebuie să existe o altă cauză decît absorbția atmosferică, care reduce numărul de mezoni ce vin pe Pămînt, și Enrico Fermi a sugerat

* În experiențele actuale se utilizează plăci de fier cu o grosime echivalentă cu 2 m de apă, însă este cu mult mai practic să te folosești de apa acestui minunat lac.

ideea că efectul s-ar putea datora instabilității intrinseci a mezonilor. Într-adevăr, mezonii se dezintegrează în zbor și fracțiunea de mezoni care merge totuși mai departe depinde de durata călătoriei. Deoarece mezonii care sosesc la Denver au de străbătut în plus 1 624m și deoarece ei zboară, practic, cu viteza luminii, intervalul de timp necesar pentru a străbate acest spațiu este de $\frac{1{,}6 \times 10^5}{3 \times 10^{10}} = 5 \times 10^{-6}$ s.

Cu ajutorul acestui număr și utilizînd descreșterea observată a intensității la altitudinea de jos, se poate calcula timpul de înjumătățire al mezonilor, care se părea că depinde de viteza lor.

Pentru mezonii foarte rapizi cu energia de 250 MeV, perioada de viață era de aproximativ 2×10^{-3}s, în timp ce pentru cei mai lenți, care aveau energia de numai 100 MeV, s-a observat o durată de viață de 5×10^{-4}s. Aceste observații au constituit prima confirmare experimentală a dilatării timpului prevăzută de Einstein, iar rezultatele experimentale au confirmat foarte bine formula

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

În experiențele ulterioare s-a măsurat durata de viață a mezonilor, după ce au fost opriți într-un bloc de substanță absorbantă, și s-a găsit că este $2{,}5 \times 10^{-6}$s. Dacă mezonii rapizi din radiațiile cosmice aveau o durată de viață atît de scurtă, ei ar fi trebuit să se dezintegreze cu toții în partea superioară a atmosferei și noi nu i-am fi observat niciodată pe Pămînt.

Ce se întîmplă cu un mezon cînd „moare"? La această întrebare se poate răspunde numai fotografiind urma mezonului și a produselor sale de dezintegrare. În cazul particulelor cu o putere de penetrație atît de mare, ca mezonii din radiațiile cosmice, nu este nevoie să se utilizeze camere cu ceață, care, în orice caz, sînt prea voluminoase pentru a putea fi trimise în baloane sau rachete. Metoda standard care se utilizează în aceste studii se bazează pe folosirea plăcilor fotografice cu un strat gros de emulsie. Mai multe

astfel de plăci sînt așezate unele peste altele într-un pachet și, atunci cînd o particulă de mare energie trece printr-un asemenea grup de plăci, ea impresionează granulele sensibile din emulsia fotografică pe care le întîlnește în cale. Cercetînd plăcile sub microscop, după ce au fost developate, se observă șiruri lungi de granule întunecate care marchează drumul particulei. O fotografie realizată cu o astfel de emulsie groasă, prezentată în planșa VIII, *sus*, arată succesiunea de evenimente, dintre care în imagine avem numai ultimele urme. Antepenultima (cea care vine de jos spre stînga) aparține unui mezon, fapt care poate fi stabilit dacă se numără granulele de emulsie înnegrite pe unitatea de lungime a urmei. Ultima urmă (cea mai din stînga, care coboară de sus în jos) aparține unui electron obișnuit produs în punctul în care urma mezonului se termină. Faptul că electronul este aruncat în direcție opusă (celeia în care se mișcase mezonul — *N.T.*) arată că trebuie să mai fi existat încă o particulă, sau mai multe, care să participe la procesul de dezintegrare și care să zboare spre stînga.

Faptul că nu mai există nici o altă urmă arată că aceste particule sînt neutre din punct de vedere electric, iar studiile amănunțite care au fost efectuate pentru determinarea direcțiilor și energiilor lor au dus la concluzia că trebuie să fie, de fapt, două particule și că ambele sînt vechii noștri prieteni, neutrinii. Prin urmare, dezintegrarea unui mezon poate fi descrisă de ecuația

$$\mu^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + 2\ \nu,$$

unde + și — corespund mezonilor încărcați pozitiv și negativ. Deoarece mezonul are o masă egală cam cu 206 mase electronice, electronul, evident, are o masă electronică, iar neutrino, practic, nu are masă, rămîn în plus 205 mase electronice. Conform principiului echivalenței dintre masă și energie al lui Einstein, acest exces de masă se va transforma în energie de aproximativ 100 MeV, care se va împărți între particulele care apar în urma dezintegrării.

Cînd mezonii au fost descoperiți pentru prima dată, ei au fost salutați de toată lumea ca fiind particulele care, conform teoriei fenomenului de schimb a lui Yukawa, ar trebui să fie răspunzătoare de forțele de coeziune dintre nu-

cleoni. Însă, nu după multă vreme, s-a constatat că situaţia nu este chiar atît de simplă. Dificultatea apărea în legătură cu problema, ce s-ar întîmpla cu mezonii dacă ar fi încetiniţi în mişcarea lor, făcîndu-i să treacă printr-un bloc de material absorbant. În acest caz e de aşteptat ca destinele mezonilor pozitivi şi negativi să fie complet diferite. Mezonii pozitivi fiind respinşi de nucleele atomice încărcate pozitiv ale substanţei în care sînt încetiniţi, vor rătăci ca nişte paria, şi în cîteva microsecunde se vor dezintegra într-un electron pozitiv rapid şi într-o pereche de neutrini. Electronul pozitiv de mare energie va fi expulzat din blocul de substanţă, va ajunge la unul dintre numeroasele contoare cu care vînătorii de mezoni au îngrădit blocul de substanţă şi va anunţa moartea unui mezon pozitiv.

Pe de altă parte, mezonul negativ încetinit va fi capturat pe o orbită cuantică a unuia dintre nuclee şi va deveni un membru temporar al sistemului atomic. Calculele efectuate de Enrico Fermi şi Edward Teller au arătat că o astfel de captură va trebui să aibă loc extrem de rapid, cu mult înainte ca mezonul încetinit să aibă şansa de a se dezintegra. Deoarece razele orbitelor cuantice ale lui Bohr sînt invers proporţionale cu masa particulei, această orbită a mezonului va fi cam de 200 de ori mai mică decît orbita electronică cea mai interioară, şi mezonul capturat se va mişca foarte aproape de suprafaţa nucleului, fiind oarecum asemănător unui satelit al Pămîntului. O dată ajuns pe orbită, mezonului i se pot întîmpla două lucruri: se poate dezintegra într-un electron negativ rapid şi doi neutrini, contoarele plasate împrejurul blocului înregistrînd moartea unui mezon negativ, sau mişcîndu-se atît de aproape de nucleu mezonul poate fi capturat de către acesta. De fapt, dacă forţele dintre protoni şi neutroni se datorează unui schimb continuu, reciproc, de mezoni, atunci trebuie să aibă loc reacţia:

$$p^+ + \mu^- \rightarrow {}^0_1n + \nu^0.$$

Din intensitatea forţelor nucleare poate fi estimat faptul că această reacţie ar trebui să fie extrem de rapidă, avînd o durată de aproximativ 10^{-22}s. Deoarece dezintegrarea naturală a mezonului se face cam în 10^{-6}s, ar urma ca, prac-

tic, toţi mezonii să fie înghiţiţi de nuclee cu mult înainte ca ei să moară de moarte naturală. Cel mult, numai un mezon din 10^{16} ar avea şansa să se dezintegreze într-un electron şi neutrini înainte de a fi înghiţit. Prin urmare, nu există electroni negativi care să iasă din blocul de substanţă ce încetineşte mezonii. Dar datele experimentale sînt în puternic dezacord cu această concluzie. Deşi numărul de electroni negativi emişi de blocul de încetinire era mai mic decît cel al electronilor pozitivi, pentru anumite materiale, chiar cu un factor de doi, pentru altele cu un factor de 10, el era întotdeauna mult mai mare decît factorul de 10^{16}! Aceasta însemna că apetitul nucleelor pentru mezoni este de cîteva milioane de miliarde de ori mai mic decît ar trebui pentru o forţă de schimb suficient de puternică pentru a corespunde concepţiei lui Yukawa. Astfel stînd lucrurile, ce era de făcut? Mezonii fuseseră prezişi, mezonii fuseseră descoperiţi, dar se părea că erau un soi nepotrivit de mezoni, şi nucleele atomice nu le arătau mai mult interes decît leii pentru fîn!

Salvarea a venit de la o placă fotografică cu emulsie groasă (aşa-numita emulsie nucleară. — *N.T.*), care a fost expusă în atmosfera superioară, cu ajutorul unui balon, în 1947, de către fizicianul englez C.F. Powell. Fotografia prezenta două urme care se uneau la capete. Una dintre ele aparţinea unui mezon obişnuit, cu masa de 206 mase electronice, în timp ce cealaltă trebuia să fi fost produsă de o particulă cu aceeaşi sarcină însă cu masa de 273 de mase electronice. Particula mai grea a fost numită „mezon greu" (la fel ca „boxer de categorie semigrea"), însă nu după multă vreme acestei particule i s-a dat numele de mezon π (sau „pion"), în timp ce pentru cealaltă particulă descoperită mai înainte, „mezonul uşor", s-a adoptat denumirea de mezon μ (sau „miuon").

Cercetările ulterioare au arătat că pionul pozitiv sau negativ se dezintegrează într-un miuon (pozitiv sau negativ) şi un neutrino conform ecuaţiei:

$$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu^{\circ}.$$

Pionii se produc la limita superioară a atmosferei ca rezultat al ciocnirii radiaţiilor cosmice primare (care sînt for-

mate în special din protoni de foarte mare energie) cu nucleele atomice, şi au un timp de înjumătăţire foarte scurt ($2{,}6 \times 10^{-8}$ s) astfel încît nici unul dintre ei nu ajunge pînă la suprafaţa Pămîntului, nici chiar cu ajutorul dilatării timpului a lui Einstein. Partea de sus a planşei VIII arată producerea unui mănunchi de pioni la ciocnirea unuia dintre protonii iniţiali ai radiaţiilor cosmice cu un nucleu din placa fotografică, şi urma unui pion, care se transformă succesiv într-un miuon şi apoi într-un electron. Dacă există numai două feluri de miuoni: μ^+ şi μ^-, în schimb sînt trei tipuri de pioni: π^+, π^- şi π°, ultimul dezintegrîndu-se în două cuante de radiaţie de mare energie:

$$\pi^\circ \rightarrow 2\ \gamma,$$

cu un timp de înjumătăţire de numai 10^{-16}s.

În anii care au urmat, o adevărată avalanşă de particule de cele mai variate tipuri s-a abătut peste capul fizicienilor. Astfel, a apărut mezonul K cu masa de 965 de mase electronice, şi diferite alte particule mai grele decît protonul, care au primit numele de „hiperoni". Numele, modul de dezintegrare, timpul lor de înjumătăţire sînt date în tabelul 1 şi nu există nici o garanţie că nu vor mai fi descoperite şi alte particule, într-un viitor apropiat (într-adevăr, din 1961, cînd a apărut cartea, şi pînă acum, tabelul s-a modificat mult; la sfîrşitul cărţii vom da un alt tabel corespunzător situaţiei de astăzi. — *N.T.)*. Fotografiile evenimentelor elementare au devenit din ce în ce mai complicate, aşa cum se vede în planşa VIII, *jos*. Această fotografie a fost făcută cu ajutorul unei noi instalaţii, cunoscută sub numele de „cameră cu bule", care, într-un anumit fel, este reversul camerei cu ceaţă. În loc să se formeze picături de lichid într-un gaz, aici se utilizează bulele de gaz formate într-un mediu lichid, de exemplu, hidrogenul lichid. Deşi cunoştinţele noastre faptice asupra particulelor elementare cresc rapid, în toate încercările noastre de a le înţelege, continuăm să ne lovim de un perete impenetrabil, iar teoriile care au fost dezvoltate în această direcţie sînt pînă acum, toate, numai de natură fenomenologică.

TABELUL 1 Proprietăţile particulelor elementare ale materiei

Numele şi simbolul	Masa, în mase electronice	Viaţa medie, în s	Schema de dezintegrare	Masa, în unităţi egale cu 137 m_e
Xi; $\Xi^{\pm}$	2 585	10^{-10}	$\Lambda^{\circ} + \pi^{\pm}$	18,88
Sigma; $\Sigma^{\pm}$	2 330	10^{-10}	$n + \pi^{\pm}$	17,02
Lambda; Λ°	2 182	$2{,}7 \times 10^{-10}$	$p^+ + \pi^-$ sau $n + p^+$	15,92
Neutron; n	1 838,6	10^3	$p^+ + e^- + \nu$	13,40
Proton; p	1 836,1	stabil		13,40
Tauon; $\tau^{\pm}$	966,5	10^{-8}	$\pi^{\pm} + \pi^{\circ} + \pi^{\circ}$ etc.	7,05
Theton; Θ°	965	10^{-10}	$\pi^{\circ} + \pi^{\circ}$ sau $\pi^+ + \pi^-$	7,05
Pion; $\pi^{\pm}$	273,2	$2{,}6 \times 10^{-8}$	$\mu^{\pm} + \nu$	1,995
Pion; π°	264,2	10^{-16}	2γ	1,928
Miuon; $\mu^{\pm}$	206,7	$2{,}2 \times 10^{-6}$	$e^{\pm} + 2\gamma$	1,511
Electron; $e^{\pm}$	1	stabil		—
Neutrino; ν	0	stabil		—

LUMEA DIN OGLINDĂ

Dacă cineva şi-a găsit pantoful stîng, poate fi sigur că dreptul este pe undeva pe sub pat sau pe sub sofa; acelaşi lucru se întîmplă cu mănuşile şi cu multe alte obiecte. În schimb toţi bărbaţii şi toate femeile au inima în stînga şi apendicele în dreapta. Dar mai important din biologie este faptul că moleculele de proteină din care sînt alcătuite toate fiinţele vii, indiferent dacă este vorba despre o amibă, despre un om, despre un hering sau despre o tufă de trandafiri, au o simetrie de stînga, şi că în lumea plantelor şi a animalelor de pe suprafaţa Pămîntului nu există simetrie de dreapta. Ciudat lucru, deoarece un chimist organician, care sintetizează proteine din elementele componente, obţine 50% din molecule cu simetrie stîngă şi 50% cu simetrie dreaptă. Aceasta ar putea să însemne că în primele etape ale dezvoltării vieţii pe planeta noastră ar fi existat cele două lumi: cu simetrie dreaptă şi cu simetrie stîngă. Fiind însă nedigerabile sau chiar otrăvitoare una pentru alta, poate că s-au luptat într-atît, încît una dintre ele a fost complet distrusă.

În fizica obişnuită însă, principiul simetriei-oglindă (cunoscut sub numele de „principiul parităţii") a fost întotdeauna respectat şi pentru orice proces fizic s-ar putea găsi un altul care să arate exact ca imaginea din oglindă a celui dintîi. În anul 1956, doi tineri fizicieni chinezi, Chen Nin Yang şi Tsung Dao Lee, au sugerat, pe baza unor considerente teoretice, ideea că acest lucru s-ar putea să nu mai fie adevărat în cazul particulelor elementare.

Aşa după cum s-a menţionat de mai multe ori pînă acum, particulele elementare, şi în special neutronii, pot fi considerate nişte titirezi care se rotesc în jurul axei lor. Această rotaţie poate fi ori în sensul acelor ceasornicului, ori în sens contrar, cele două feluri de mişcare putînd fi transformate una într-alta, simplu, învîrtind titirezul în sens invers. Electronul emis la dezintegrarea neutronului zboară, de preferinţă, de-a lungul axei sale de rotaţie, şi se credea că electronii sînt emişi cu probabilitate egală în ambele direcţii (sau, ca să spunem altfel, spre Polul Nord şi spre Polul Sud). Dacă aşa stau lucrurile, principiul parităţii ar trebui să fie satisfăcut şi imaginea din oglindă a unui neutron care se dezintegrează ar fi identică cu însuşi neutronul, deoarece singurul lucru pe care l-am avea de făcut pentru ca ei să coincidă ar fi să-l întoarcem pe unul dintre ei. Dacă însă electronul este emis întotdeauna într-o direcţie (fig. VIII-20 *a*), situaţia se schimbă. De fapt, privind la imaginea în oglindă a dezintegrării unui neutron (fig. VIII 20*b*), se constată că nu există nici un mod de a o roti, astfel încît să coincidă cu originalul. Dacă, în ambele cazuri, electronul este emis în sus, ca în fig. VIII-20, cei doi neutroni se vor roti în sensuri opuse. Dacă vom încerca să răsturnăm mintal, fie imaginea, fie originalul, vom constata că cei doi electroni se vor mişca în sensuri opuse. Principiul parităţii va fi violat şi comportarea particulelor elementare din oglindă nu va fi identică cu cea a particulelor din faţa ei.

Pentru a verifica ipotezele lui Yang şi Lee s-au efectuat experienţe directe, în care s-a căutat să se determine dacă există vreo corelaţie între rotaţia neutronului şi direcţia de emisie a electronului. Pentru aceasta, o substanţă beta-activă a fost răcită la o temperatură foarte scăzută şi aşezată într-un cîmp magnetic foarte intens. În aceste

FIG. VIII—20 Imaginea în oglindă a dezintegrării unui neutron.

condiţii, cînd agitaţia termică, practic a dispărut, toţi atomii erau orientaţi într-o singură direcţie, de-a lungul liniilor magnetice de cîmp. Dacă electronii ar fi fost emişi, în mod egal, în ambele direcţii, în raport cu axa de rotaţie a neutronului, atunci s-ar fi observat că ei zboară în număr egal către polii nord şi sud ai electromagnetului. Experienţa a condus însă la o concluzie complet opusă şi Yang şi Lee au prevăzut că toţi electronii vor zbura în aceeaşi direcţie. La scurtă vreme după aceasta s-a obţinut acelaşi rezultat şi pentru dezintegrarea mezonului μ.

Aceasta a însemnat căderea principiului parităţii; lumea particulelor elementare s-a dovedit asimetrică. Unde o fi oare cealaltă jumătate a ei, care corespunde fizicii „prin oglindă"? Nu ştim, şi nu vom şti pînă cînd nu vom înţelege natura fundamentală a particulelor elementare.

VIITORUL FIZICII

Din cele spuse mai înainte reiese clar că viitorul fizicii depinde de studiile şi de înţelegerea particulelor elementare. În momentul de faţă însă, în timp ce domeniul experimental se află pe drumul cel bun, teoria particulelor elementare bate, oarecum, pasul pe loc. Cu douăzeci şi cinci de secole în urmă, Democrit a postulat ideea că ma-

teria constă din porţiuni minime, discrete, iar astăzi sîntem din ce în ce mai convinşi de justeţea acestui postulat. Abia acum o jumătate de secol am aflat că şi energia are o structură „atomică", iar astăzi putem vorbi despre cuante de energie. În decursul ultimilor 60 de ani, fizicienii au învăţat cum să cuantifice diferitele feluri de energie. În cazul radiaţiei electromagnetice, energia poate lua numai valori de forma $nh\nu$, unde ν este frecvenţa de vibraţie, iar n este un număr întreg. În atomul de hidrogen, care este cel mai simplu, energia diferitelor stări cuantice variază ca $1/n^2$, unde n este un număr întreg. În cazurile mai complicate, răspunsurile corecte sînt date de ecuaţiile lui Schrödinger şi Dirac. Însă în cazul particulelor materiale, ne aflăm încă într-un stadiu de completă ignoranţă. Noi nu ştim de ce o sarcină electrică are întotdeauna aceeaşi valoare: $4{,}77 \times 10^{-10}$ u.e.s. Nu avem nici cea mai mică idee de ce masele particulelor sînt cuantificate, avînd valorile relative egale cu cele date în tabelul 1. Şi nu ştim mai mult decît ştia Democrit de ce materia constă din particule indivizibile, în loc să fie într-adevăr continuă.

Răspunsurile la aceste întrebări vor da naştere fizicii viitorului, însă de cîteva decenii nu s-a mai făcut nici un pas deosebit spre obţinerea lor şi nimeni nu poate să prevadă cînd se va sparge gheaţa. Deşi nu se cunoaşte un răspuns corect, nu este inutil să se analizeze astfel de probleme. Să luăm, de exemplu, sarcina elementară e. Se ştie că e^2 împărţită la produsul dintre viteza luminii c şi constanta cuantică h este un număr pur, adică o *constantă fără dimensiuni*, ceea ce înseamnă că, indiferent cum exprimăm pe e, c, şi h, în unităţi din sistemul C.G.S., sau în oricare alt sistem de unităţi (cu condiţia să fie folosit consecvent), acest raport rămîne acelaşi. Raportul poartă numele de „constanta structurii fine", deoarece intră în dezvoltarea seriei liniilor spectrale ale lui Balmer, în mai multe componente foarte apropiate, şi a cărei valoare numerică este 1 împărţit la 137. De ce 137 şi nu 75 sau 533? În formulele fizice coeficienţii numerici au întotdeauna o anumită semnificaţie matematică. De exemplu, dacă se studiază relaţia dintre perioada T a pendulului, lungimea lui, l şi acceleraţia gravitaţiei, g,

indiferent de unităţile folosite, întotdeauna se regăseşte formula

$$T = 6{,}283\sqrt{\frac{1}{g}}.$$

Ce este acest număr 6,283? Ei bine, dacă încercăm să-l legăm de anumite numere cunoscute în matematică, constatăm că el nu este altceva decît 2π. Şi, desigur, utilizînd ecuaţiile mecanicii teoretice pentru obţinerea acestei formule, constatăm că acest coeficient *trebuie să fie* 2π. În mod similar, dacă se dezvoltă expresia pentru sarcina elementară prin utilizarea ecuaţiilor teoriei cuantice relativiste, care conţine constantele c şi h, reuşim să ajungem la concluzia că raportul hc/e^2 (inversa constantei structurii fine) este dat de o anumită expresie matematică, numeric egală cu 137. Însă nimeni nu ştie pînă astăzi *cum* să dezvolte o astfel de teorie şi, dacă nu era greu de ghicit că 6,283 este $2 \times 3{,}141...$, este cu mult mai greu să ghiceşti ce vrea să însemne numărul 137!

Sir Arthur Eddington, care a adus contribuţii de nepreţuit la teoria structurii interne a stelelor, a făcut cu mulţi ani în urmă o încercare curajoasă de a-l explica pe 137. Argumentele sale, exprimate foarte aproximativ, au fost următoarele: Noi trăim într-un univers patrudimensional (x, y, z, *ict*) şi $4 \times 4 = 16$. De aceea, să construim o *matrice*, adică o tabelă pătratică cu 16 linii şi 16 coloane. Să mai presupunem că matricea este „simetrică" faţă de diagonală, însemnînd că ceea ce conţine în colţul format de linia n şi coloana m este identic cu ceea ce se află în colţul format de linia m şi coloana n. Cîte colţuri independente vom avea? Ei bine, nu e greu de calculat. Matricea are, cu totul, $16 \times 16 = 256$ colţuri (sau numere). Dintre acestea, 16 aparţin diagonalei, deci rămîn 240. Prin urmare, fiecare suprafaţă triunghiulară, de o parte şi de alta a diagonalei, conţine 120 de numere. Deoarece numerele care se află pe o parte a diagonalei sînt identice cu cele de pe cealaltă parte, înseamnă că ne rămîn 120 de numere independente care însă împreună cu cele 16 numere de pe diagonală fac 136. Pe vremea cînd Eddington a ajuns pentru prima dată la această relaţie se credea că constanta empirică este 136. Abia după cîţiva ani, măsurători mai

precise au ridicat valoarea constantei la 137, ceea ce l-a forţat pe Eddington să caute o „teorie modificată", care să aibă ca rezultat adăugarea încă a unei unităţi.

Această idee a lui Eddington a fost ridiculizată într-un scurt articol scris de G. Beck, H. Bethe şi W. Riezler, publicat în numărul din 9 ianuarie, 1931, al revistei germane „Naturwissenschaften". Încercînd să arate cît de periculos este să se *jongleze* cu numerele, în acest articol, se spunea:

„Anumite observaţii asupra teoriei cuantice a temperaturii de zero". Să considerăm o reţea cristalină hexagonală. Punctul său zero absolut este caracterizat prin aceea că toate gradele de libertate sînt îngheţate, cu excluderea, desigur, a mişcării electronilor pe orbitele lui Bohr. După Eddington, fiecare electron posedă $\frac{1}{\alpha} = 137$ grade de libertate. În afară de electroni, reţeaua cristalină conţine, de asemenea, şi un număr egal de protoni. Pentru a ajunge la temperatura de zero absolut, fiecărui neutron (adică un proton plus un electron) trebuie să-i atribuim $\frac{2}{\alpha} - 1$ grade de libertate, deoarece, un grad de libertate este îngheţat în timpul mişcării electronului pe orbită. În felul acesta obţinem, pentru temperatura zero absolut, valoarea:

$$T_0 = -\left(\frac{2}{\alpha} - 1\right) \text{grade.}$$

Presupunînd că $\frac{1}{\alpha} = 137$, obţinem pentru zero absolut temperatura:

$$T_0 = -273 \text{ grade,}$$

care concordă foarte bine cu valoarea experimentală. Notăm că rezultatul nostru este independent de alegerea unei anumite reţele cristaline

Desigur, relaţia numerică dintre 137 şi 273 este o simplă coincidenţă, pentru că, în timp ce 137 este o constantă numerică ce nu are decît această valoare, temperatura zero absolut este dată de numere diferite, în funcţie de scările termometrice Celsius, Fahrenheit sau Réaumur uti-

lizate. După ce articolul a fost publicat, editorul, fiind informat de către unul dintre fizicienii de la Berlin că, de fapt, articolul a fost doar o păcăleală, a trimis o scrisoare foarte aspră autorilor, care pe atunci lucrau la Universitatea din Cambridge. Din răspunsul umil pe care l-au trimis, reieşea că autorilor le părea foarte rău de neînţelegerea creată, ei fiind însă siguri că articolul va fi considerat doar ca o parodie la modul cum anumiţi fizicieni construiesc teorii. Şi astfel, numărul următor al revistei „Naturwissenschaften" publica o notă din partea editorului, în care acesta spunea că speră ca toţi cititorii să fi înţeles că articolul lui Beck, Bethe şi Riezler nu e decît o parodie.

Şi, atunci, Sir Arthur Eddington a explodat!

Iată o poezie scrisă atunci, de către amintitul Vladimir Alexandrovici Fock*:

137-1840

Deşi putem să socotim cum vrem
Epuizaţi şi în delir vom recunoaşte
Că numărul *137*
Rămîne încă pentru noi mister.
Doar singur Eddington îl vede clar
Şi îi denunţă pe cei ce rîd de el.
El singur spune, numărul acesta
E numărul de dimensiuni din lumea noastră.
Ei bine, credeţi c-a ghicit?
E vorba oare chiar de lumea asta
Care ne ţine şi pe mine şi pe tine şi pe el?
E lumea ce-o simţim în fel şi fel...
Ei, hai, nu poate fi serios,
Aşa şi eu aş putea spune despre un alt număr
(Cînd pot să mă răzbun sînt chiar voios)
Să zic *o mie opt sute patruzeci*
Şi cred că este chiar valoarea necesară.
Sir Arhur poate să-şi *păstreze* număru-i mai mic,
Să fie-n veci al lui.
Numărul meu 1 şi 8 şi 4 şi 0
Se potriveşte unei lumi ce-o vom cunoaşte!
Deci, înainte şi trăiască ce susţii (chiar dacă spui prostii),

* — Traduse de către BPG, în engleză, din limba originală, care era o germană modificată.

Iar pe cazanul meu din iad să strălucească
Aceste patru cifre
Ce pînă şi pe diavol să-l uimească.

Toate acestea s-au întîmplat cam cu 30 de ani în urmă, dar pînă azi nu se ştie de ce constanta este 137 şi nu alt număr, şi dacă „explicaţia" lui Eddington se datorează unei simple coincidenţe sau conţine şi un sîmbure de adevăr. Am putea, desigur, clasifica încercarea lui Eddington drept „numerologie", care este foarte rău privită astăzi, dar ea pare foarte aproape de „teoria numerelor", care a devenit o ramură a matematicii foarte dezvoltată şi apreciată. În încercările lor de a descifra enigmele naturii, fizicienii au apelat adesea la matematică şi în multe cazuri au obţinut ajutorul aşteptat. Cînd Einstein a vrut să interpreteze gravitaţia drept curbura unui continuu spaţiu-timp patrudimensional, el a găsit gata pregătită teoria lui Riemann asupra spaţiilor curbe multidimensionale. Iar cînd Heisenberg a căutat o formă matematică pentru a descrie mişcarea electronilor în interiorul atomilor, el a găsit gata pregătită algebra necomutativă. Numai teoria numerelor şi topologia *(analysis situs)* au rămas nişte discipline pur matematice, fără nici o aplicaţie în fizică. Vor putea, oare, să ne vină ele în ajutor pentru înţelegerea altor enigme ale naturii?

Dacă ne vom întoarce la problemele fizicii de mîine, vom constata, probabil, că avem mai multe dificultăţi cu explicarea maselor particulelor elementare decît cu sarcinile lor electrice. De fapt, orice formulă care exprimă masa în funcţie de viteză *(c)*, de acţiune *(h)* şi de o constantă numerică, trebuie să conţină şi o *lungime*. S-ar putea, de exemplu, scrie:

$$\text{masa} = A \times \frac{\text{acţiunea}}{\text{viteza} \times \text{lungimea}},$$

unde A este un număr oarecare de forma 1; $\sqrt{2}$; $\frac{3}{5}\pi$; $\frac{1}{2}\pi^2$ etc. Dacă luăm pe A aproximativ 1, acţiunea egală cu $h(6{,}55 \times \times 10^{-27})$ şi viteza egală cu c (3×10^{10}), şi dorim că obţinem masa medie a unei particule materiale, de exemplu, masa unui mezon (2×10^{-25}), pentru aceasta ar trebui să

luăm lungimea egală cu aproximativ 10^{-12} cm. Evident, dacă A nu este 1, ci, să zicem, 2π ($\cong 6$) sau π^2($\cong 10$), lungimea corespunzătoare devine 10^{-13} cm. Lungimi de acest ordin de mărime sînt obişnuite în fizica particulelor elementare. „Raza electronului", calculată pe baza teoriei electrodinamicii clasice, este $2{,}8 \times 10^{-13}$ cm, în timp ce distanţa la care forţele nucleare dintre două particule încep să acţioneze este, după cum se ştie, $1{,}4 \times 10^{-13}$ cm. De aceea mi se pare că lungimea de ordinul 10^{-13} cm are o semnificaţie fundamentală în problemele legate de particulele elementare.

De cîteva decenii, fizicienii teoreticieni nutresc speranţa că lungimea de ordinul 10^{-13} cm, care în mod obişnuit este denumită λ, va juca rolul de *lungime elementară* în dezvoltarea ulterioară a teoriei. Tot aşa după cum c este *viteza cea mai mare posibilă* din teoria cuantică, λ ar fi destinată să joace rolul *celei mai mici distanţe posibile* într-o viitoare teorie a materiei. Ea va fi, să zicem, „diametrul unui punct matematic" şi nu va avea sens să vorbim despre distanţe mai scurte decît ea. Această posibilitate este un vis dintre cele mai interesante şi mai emoţionante, care probabil, va deveni adevărat cîndva, însă nimeni nu ştie cînd.*

Ajungînd la o încheiere destul de dramatică a acestui volum, care a devenit în orice caz prea mare, am putea să mai considerăm încă o relaţie „numerologică" observată în domeniul particulelor elementare. Nu putem înţelege ce înseamnă 137, dar să exprimăm masele tuturor particulelor elementare în funcţie de 137 mase electronice. Rezultatul este prezentat în tabelul (p. 364) şi, după cum se vede, cifrele sînt foarte apropiate de nişte numere întregi, cu excepţia a două numere care sînt aproape de nişte valori semiîntregi. Poate că este vorba doar de o simplă coincidenţă, însă şansa unei astfel de coincidenţe este de unu la cîteva miliarde. Iar dacă nu este o coincidenţă, ce semnificaţie poate avea? Poate fi, oare, şirul de „numere magice":

$$19;\ 17;\ 16;\ 13\frac{1}{2};\ 7;\ 2;\ 1\frac{1}{2}$$

* Această afirmaţie nu mai este valabilă astăzi cînd topologia şi-a găsit fecunde aplicaţii în numeroase domenii, printre care şi fizica. -*N.T.*

explicat pe baza vreunei teorii raţionale? Poate fi, oare, pus în legătură, de exemplu, cu teoria numerelor, fiind legată într-un fel oarecare de şirul numerelor prime, sau de un şir mult mai complicat de numere? Sau, poate, este mai degrabă legat de topologie, avînd anumite conexiuni cu numărul de interacţiuni, colţuri, feţe şi suprafeţe — limită ale poliedrelor patrudimensionale? Nu ştim. Să sperăm însă că cercetările fizicienilor din generaţiile viitoare vor găsi soluţiile acestor probleme.

Referinţe bibliografice

Citatele din scrierile marilor fizicieni ai trecutului au fost luate în cea mai mare parte, din:

M. R. Cohen şi I. E. Drabkin, *A Source Book in Greek Science*, McGraw-Hill, N.Y., 1948.

Galileo Galilei, *Dialogue on the Great World Systems*, University of Chicago Press, 1953.

Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World, University of California Press, 1934.

Sir Isaac Newton, *Opticus or a Treatise of the Reflections, Inflections and Colours of Light*, G. Bell and Sons, Ltd., London, 1931.

Faraday's Diary, Publicat de Royal Institution of Great Britain, G. Bell and Sons, Ltd. London, 1932.

Indice alfabetic

Abbott, Benjamin, 164
accelerator, 148, 150, 331—333
— Van de Graaff, 331
accelerație, 52, 70—72, 77
actiniu, 310, 314
acțiune, 274
Adams, J.C., 78
alchimie, 38
Alexandru cel Mare, 13, 28, 198
Alexandria, (școala din-), 28
alfa, dezintegrare ~, 322, 329
— , particule ~, 253, 254, 255, 268
— , radiații ~, 310, 311, 312, 321, 323, 329—331
Almageste, 32, 34
Ampère, André Marie, 159—160, 162, 171
amper, 160
Anderson, Carl, 302, 356
„Annalen der Physik", 197, 286
„Annales der Chimie", 158
anod, 149
antimaterie, 303—305
antineutroni, 305
antiprotoni, 304
Arhimede, 14—28, 45, 82
Aristotel, 13—14, 39—40, 55—57, 60.
Aston, F. W, 250
astronomie 60—64, 305
Despre echilibrul planelor, 16
Asupra echilibrului solidelor elastice, 175
Asupra electrodinamicii corpurilor în mișcare, 198
Asupra teoriei curbelor de rostogolire, 175
atelier ideal, 289
Atkinson, Robert, 347
atomi, 11—13, 238

balanța de torsiune, 150
Bandover, Jacob, 60
Balmer, J.J., 273
— , seria ~, 273, 274, 367
bariu, 340
Bartholin, Erasmus, 102
baterii electrice, 155
Beck, G., 369, 370
Becquerel, Henri, 308—309
becul Bunsen, 140—141
Bernoulli, Daniel, 82
— , principiul lui ~, 84—85
beta dezintegrare ~, 322
— radiații ~, 310—312, 322
Bethe, Hans, 348, 369—370

bevatron, 303, 333
binomială (teorema-), 66
Black, James, 111
Blackett P.M.S., 329
Bohr, Niels
— note biografice, despre ~, 268—271
— şi Einstein, 294—295
— modelul atomic al lui ~, 279—282, 284
— şi neutronii, 321
— şi principiul de incertitudine, 295—296
— şi radioactivitatea, 324
— şi Rutherford, 268, 321
— şi teoria cuantică, 268, 269, 272, 284, 300, 361, 369
— teoria orbitelor cuantice a lui ~, 268, 269, 272, 284, 300, 361, 369
Boltzmann, Ludwig, 126, 131, 132, 140, 256, 306
bomba atomică, 215, 345—346
— nucleară, 345—346
Bose-Einstein, statistica ~, 306, 307
Bothe, W., 321
Boyle, Robert, 107, 127
Bragg, W.H., 247
Bragg, W.L., 247
Brahe, Tycho, 43
Broglie, Louis de ~, 283—286
Brown, Robert, 134
Bunsen, Robert Wilhelm, 140 142
— , bec ~, 140—142
butelia de Leyda, 147, 148, 153

cadmiu, 247, 250
Caesar Iulius, Caius, 28
calcul, 47, 52, 66—67
calorie, 11
căldură, 106
căldură latentă, 112, 122
camera cu bule, 363
camera cu ceaţă, 291, 302, 328—329
carbon, 247—251, 343, 348—350
Carlisle, M., 156
Carnot, Sadi, 112, 116
Casimir, Cas, 270—271
catod, 149
Catoptrica, 29
Cavendish, Henry, 152—153
Ce este viaţa?, 134
Chadwick, James, 322—323, 325
Chamberlain, 304
Charles, Jacques, 108, 127
— , legea lui ~, 108
ciclul carbonului, 348—350
circuit galvanic, 161
ciclotron, 332—333
cîmp de forţe, 174
— , electromagnetic, 184, 236, 270
Clausius, Rudolph, 116
clor, 247, 250, 282
Cockcroft, John, 148, 330, 347
colac (nuclee-), 336—337
Compton, Arthur, 265—268
— , efectul ~, 266—267
con de lumină, 219
condensatoare, 148
Condon, Edward, 316
constanta cuantică, 260
— , structurii fine, 367
contor Geiger, 253, 322
contracţia relativistă a lungimii, 207, 208
contracţia Fitzgerald, 169, 205 207—208, 216, 231—232

Copernicus, Nicolaus, 39, 56, 62
cosmologie, 305
Coulomb, Charles-Augustin de ~, 150—153
coulomb, unitate de sarcină electrică, 151, 154, 160
Cowan, Cloyd, 325—326
Critchfield, Charles, 349
Crookes, William, 239—240
cuante, 68, 136
— de lumină, 136, 260, 262, 268, 272—273
cubul lui Jeans, 256—260
curbura spaţiului, 227—236
curcubeu, 88—89
Curie, Marie Sklodowska ~, 309—310
Curie, Pierre, 309

Dalton, John, 238
Davisson, C.J., 286
Davy, Humphry, 166
Debierne, André, 310
De Broglie, Louis, 283—286
defect de masă, 251
De Magnete, 145
Democrit, 3—4, 238—239, 367
deplasare paralactică, 200
De Revolutionibus Orbitum Coelestium, 39, 41
Descartes, René 96
deuteriu, 349 350—351, 352—353
Dialog despre cele două mari sisteme principale ale lumii, 56 60
difracţia, 246—247, 286, 290
dilatarea timpului, 359, 363
dimensiune critică, 345—346
dinamica, 47, 52, 79, 82—85
Diodati, Ella, 62
dioptrica, 30
Dirac, Paul Adrien Maurice, 296—303, 367
— , ecuaţia lui ~, 298—301
Doppler, efect ~, 200
drum liber mijlociu, 128
Du Fay, Charles François, 146, 149
dyna, 70

echilibru, 45
echinocţii, 29, 78
echipartiţiei energiei, legea ~ 127, 258—259
ecliptica, 78
ecuaţia lui Schrödinger, 286, 287, 288, 298
Eddington, Arthur, 347, 368, 369, 370
efectul Compton, 267 — 268
efectul fotoelectric, 262—265, 275
efectul pinch, 354—355
Einstein Albert,
— note biografice, despre ~, 196—198, 236—237
— şi Bohr, 294—296
— şi contracţia relativistă a lungimii, 207—208
— şi cuantele de lumină, 136, 262, 265, 274—275
— şi dilatarea timpului, 359, 363
— şi relaţia energie-masă, 214—215, 250—251, 330, 360
— şi eterul universal, 104, 182, 198

— şi experimentul imaginat, 202, 289, 294
— şi fenomenele optice şi electromagnetice 60, 183—184, 211
— şi gravitaţia, 233—235, 371
— legea echivalenţei a lui ~, 330
— şi lumina, 186, 224—226
— şi mişcarea browniană, 136
— şi principiul de incertitudine, 294—295
— şi teoria relativităţii, 47, 136, 189, 200, 206—207, 223
— şi teoria unificată a cîmpului, 172, 236—237·
— şi transformările Lorentz, 207
electricitate, 145
electricitate răşinoasă, 146—148
electricitate vitroasă (sticloasă), 146—149
electroliza, 165—166
electromagnetism, 157—158, 173, 175—181
electromagnet 162
electroni, 160, 244—247, 255, 263, 279—285, 289, 298, 364
electronul greu, 337
electroscop, 147—148
electrostatica, 331
Elemente de geometrie, 16, 28
Ellis, C., D., 323—324
emisferele de Magdeburg, 146
energia, 106
— atomică, 341—342
— cinetică a luminii, 264
— — — mişcării, 216
energie, cuante de ~ 367
— nucleară, 342
— radiantă 262
entropie, 119—120, 123, 131—132, 294
erg, 71
eterul universal, 104, 182—183, 186, 198
Euclid, 16, 28, 41
experienţa lui Michelson şi Morley, 191—194, 201—202, 206
Experimente şi observaţii asupra electricităţii 149

Faraday, Michael, 163—172, 173—174, 242, 244
— , tuburile lui ~, 173—174
Ferdinand, ducele Toscanei, 107
Fermi, Enrico, 280, 325, 342, 344, 358, 361
Fermi-Dirac, statistica ~, 307
forţe, cîmp de ~, 174
Frisch, Otto, 340
fisiune, 310, 341—345
— , reacţia de ~ în lanţ, 340
Fitzgerald, G., F., 194, 205, 206—207, 216, 231—232
Fizeau, Armand, Hippolyte, Louis, 184—185, 186—188, 210
fluid de căldură, 111—113
Fock, Vladimir, Alexandrovici, 277, 370
forţă, 68
— centrifugă, 231—232
forţe coulombiene, 255, 274—275, 336—338
— , electrice, magnetice, 150—153, 163
— , electromagnetice, 198, 212
— , de schimb, 355
fotoelectroni, 262—265

fotoni, 198
fotosfera, 144
Foucault Jean, 186—187
Fowler, R., H., 255
Frank, James, 280
Franklin, Benjamin, 149—150
Fraunhofer, Joseph von ~, 144
frecare, 72, 115—116
Fresnel, Augustin, Jean, 101
Friedrich, W., 246
Fust, H., 39

Galilei, Galileo
— ca astronom, 60—64
— note biografice, despre ~, 46, 65
— şi dinamica, 46
— şi legea mişcării accelerate, 51—53
— şi legile căderii corpurilor, 48
— şi mişcarea compusă, 52—53, 59, 223
— şi pendulul, 46—47
— şi termoscopul, 106—107, 108, 109
— şi transformările de coordonate, 206
— şi viteza luminii, 184 199—200, 202
Galilei, Vincenzio, 46—64
Galvani, Luigi, 153—154, 164
galvanism, 155
galvanometru, 162
gamma, radiaţii ~, 311—312
Gamow, George, 316, 330, 335
Gauss, Karl Friedrich, 146
Gay-Lussac, Joseph, 107, 127
Geiger, Hans, 322
— , contor ~, 253, 322
Germer, L.H., 286
Gibbs, Josiah, 126, 306
Giesel, 310
Gilbert, William, 145—146
gravitaţia, 48, 75, 122—124, 146, 223—227, 234
gravitaţia şi curbura spaţiului, 227—236
gravitaţia terestră, 145—146
Guericke, Otto von ~, 107, 146
Gurney, Ronald, 316

Hahn, Otto, 310, 340
halo, 89
Haukesbee, Francis, 147
Heisenberg, Werner, 286, 288, 290—295, 357, 371—372
— , teoria lui ~, 286—288, 292, 294—296
heliu, 247—248, 281, 310, 349
Helmholtz, Hermann von ~, 346
Henry, Joseph, 162
Heron, 29—32, 45
Hertz, Heinrich, 178
hidrogen, 247—248, 251, 273—276, 286, 349—351, 352, 367
hidrostatica, 82
hiperoni, 355
Hieron, (regele-), 20 21, 23, 26
Hiparh, 28, 32
Hooke, Robert, 67, 85
Houtermans, Fritz, 347—348
Hubble, Edwin, 233
Huygens, Christian, 67, 95—99, 100, 102—104, 186
— , principiul lui ~, 95—104
Hypatia, 36

impuls, 69—70
inducţia electromagnetică, 166—167
— , electrostatică, 147
inelele lui Newton, 90—94, 101
inerţie, 70
interacţiunea magnetică, 152—153
interpretarea mecanicistă, 68
ioni, 165
izotopi, 247—251

Jeans, James, 256—260, 271
— , cubul lui ~, 256—260
Jensen, Hans, 340
Joule, James Prescott, 115—116
jouli, 71, 157

Kapiţa, Piotr, 251
Kelvin (Lord) ~, 116, 183, 346
Kepler, Johannes, 39—44, 62, 77, 234
Kirchhoff, Gustav, 143
Knipping, P., 246
Kohlrausch, electrometre ~, 266

lanţul lui Stevinus, 44
Laue, Max von, 245—246
Lavoisier, Antoine, 153
Lawrence, Ernest Orlando, 331
Lebedev, N., 213
Lee, Tsung Dao, 365—366
legea cuantelor, 238
— echipartiţiei energiei, 127, 258—259
— echivalenţei, 214—216
— ~ a lui Einstein, 330
— Boyle — Mariotte, 107, 127
legea lui Bernoulli, 82—85
— — Charles, 108
— — Ohm, 161
— — Pascal, 82
— Ştefan — Boltzmann, 140
— — Wien, 139
— fundamentală a pîrghiei, (a lui Arhimede), 14—21
— pentru corpurile plutitoare, (a lui Arhimede), 22—25
legea pitagoreică a coardelor, 10—11
legea duratei de viaţă 314—316
legile căderii, 48
— curentului electric, 160—162
— gazelor, 107
Leibnitz, Gottfried, 67
Lenard, Philipp, 240
Leverrier, U.J.J., 78
litiu, 283, 331
Lorentz H.A., 206
— , transformării ~, 206—207
lungime de undă, 95, 256—257, 259—260
lucrul de ieşire (de extracţie), 265
Lyman, Theodore, 274

magneziu, 283
magnetism, 145—146, 168, 169—171
Malus, Etienne, 104
Manhattan, proiectul, 216
Marsden, E., 255
masa, 70
masă-energie, echivalenţa ~, 211—216, 249—251, 360
matrice, 286—288

Maupertuis, P.L.M., de-, 78
Maxwell James Clerk,
— şi curba de distribuţie a vitezelor, 128
— şi electromagnetismul, 176
— 181, 212, 236—237
— ca matematician, 175—178
— şi teoria căldurii, 126, 180, 256, 306
Mayer, Julius Robert, 114—115
Mecanica, 29
mecanica, 14, 67, 68
— cerească, 77—78
— relativistă, 205—211
Meitner, Lise, 340
Mendeleev, Dmitri, 183
— , sistemul periodic al lui ~, 183, 279, 335, 338, 340
Minkowski, H., 217
mezoni, 205, 355
mezon K, 363
— — π, 362, 363
mezotoriu, 310
Meyer, Maria Goepert, 340
Michelson, A.A., 189, 199
Michelson şi Morley, experienţa lui ~, 189—195, 199, 201—202, 206
mişcare, 69—72, 216
— browniană, 135, 198
— planetară, 41—43, 78
— perpetuă, 123—125, 324
— termică, 134—138, 256
miuon, 362 363
modelul atomic al lui Bohr, 279—283, 284
— — — — Rutherford, 251—256
moderator, 343—344
molecule, 256—257, 258, 259
moment, 69
monocromator, 263
Morley E.W., 189—192, 199
Mysterium Cosmographicum, 39—40

Naturwissenschaften, 369, 370
natura cuantică a energiei radiante, 268
nava-rachetă, 223—225
neon, 281
neptuniu, 344
neutrini, 360, 361, 364
neutroni, 324—325, 364
Newton, Isaac
— şi acceleraţia, 70, 77
— note biografice despre ~, 65—67, 104—105
— şi calculul, 47
— şi dinamica, 79—85
— şi echinocţiile, 29, 78
— şi gravitaţia, 74, 146, 234
— şi impulsul, 69—70
— inelele lui ~, 90—94, 100—101
— şi inerţia, 69—70
— şi optica, 85
— şi propagarea, 102—104
— şi relativitatea, 200—201, 206
telescopul lui ~, 90
— şi teoria ondulatorie, 93, 186
newton, 71
Nicholson, M., 156
Nishina, Y., 297
Nobel, Alfred, 215
nucleu atomic, 255
număr atomic, 255

Oersted, Hans Christian, 157—159
Ohm, George Simon, 160—161
— , legea lui ~, 161
ohmi, 161
Oppenheimer, Robert, 342
optica, 85, 180
Optica, 32, 85, 88, 103
oscilaţie, 143
Osiander, Andreas, 39
oxigen, 247, 282

paralactică, deplasarea ~, 200
particule alfa, 253, 254, 255, 329
particule elementare, 238—239, 308, 365—366
Pascal, Blaise, 82
— , legea lui ~, 82
Paschen, Friedrich, 274
Pauli, Wolfgang, 279—280, 302, 324—326
— principiul de excluziune al lui ~, 280—283, 301, 302, 306, 322
pendulul, 46—48
Perrin, Jean, 135, 240
Physical Review", „The, 342
pila lui Volta, 155, 156, 157, 161
pion, 362, 363
Pitagora, 10—11, 40, 259
— , legea lui ~, a coardelor, 10—11
Planck, Max, 260—262, 275
— , teoria lui ~, asupra radiaţiei termice, 260—262, 265, 275, 290, 294
plasma, 352—354
plasticitate, 183
Platon, 14
Plutarh, 19—20, 26—27, 34
plutoniu, 344—345
polarizare, 102—104, 147, 167—168, 170—171, 182
polarizarea electrică, 147, 167—168, 170—171
poloniu, 310
potenţial electric, 156, 160—161
Powell, C.F., 362
pozitroni, 303
precesia echinocţiilor, 78—79
principiul lui Huygens, 95—100
principiul de excluziune al lui Pauli, 280—282, 301, 302, 306, 322
principiul de combinare al lui Rydberg, 273
principiul parităţii, 365—366
Principiile matematice ale filozofiei naturale, 67—70, 79, 85, 200
propagarea sunetului, 136—138
propulsarea prin jet, 29—30
protactiniu, 312, 314, 316
protoni, 273, 322, 330—331, 364
— negativi, 303—305
proton uşor, 357
Prout, W., 247, 249, 250
psihologie, 14
Ptolemeu, Claudiu, 32—36, 56

radar, 32
radiaţie, 310—311
— termică, 256—257, 260, 265, 274—275, 290—291, 293—294
radiaţii alfa, 254, 310—312, 313, 322, 329
— beta, 310—312, 313, 322, 323
— canal, 249

— cosmice, 266—267, 356, 357, 362—363
— electromagnetice, 260, 367
— gamma, 311, 312
— ultraviolete, 256, 263
— X, 244—246, 267, 268, 285, 308, 309
radioactivitate, 251, 253, 308—314, 322
radiotoriu, 310
radiu, 310, 315
Ray, 107
reacţia H—H, 349—350
reacţii nucleare, 215
— termonucleare, 351—355
reflector, telescopul ~, 90
refracţie, 32—33, 36
Reines, Fred, 325—326
relativistă (mecanică-), 205—211
relativistă (teoria- a gravitaţiei), 223—226, 256
relativitatea mişcării, 198—200
relaţiile de incertitudine, 270, 288
Remarci asupra forţelor naturii neînsufleţite, 114
rezonanţă, 143
Riebau, M, 163
Riemann, Bernhard, 234, 371
Rietzler, W., 369—370
Roemer, Olaus, 185
Roentgen, Wilhelm Conrad, 244—246
Roosevelt, Franklin D, 216
Rosenfeld, Leon, 270
Rossi, Bruno, 357
Rumford, contele 113—114
Rutherford, Ernest,
— modelul atomic al lui ~, 244, 251—256, 268, 271
— şi Blackett, 329
— şi Bohr, 268, 321
— şi neutronii, 321
— şi protonii, 330
— şi radiaţia, 310—312, 316—317
Rydberg, principiul de combinare al lui ~, 273

Salisbury Thomas, 52
satelit al Pământului, 73—74
Schrödinger, Erwin, 133—134, 286, 367
— ecuaţia lui ~, 286—287, 288, 298
scripete, 21, 29
secţiune eficace, 333—334, 351
Segré, Emilio, 304
sifon, 29
sigma, 364
simetrie-oglindă, 365
sistemul periodic al lui Mendeleev, 183, 279—283, 312, 335, 338, 340
Snell van Royen, Willebrord, 36
Soddy, Frederick, 312
sodiu, 282
Sommerfeld, Arnold, 276
spă-gătoare de atomi, 148—150, 331—333
spărgătoare de gheaţă atomice, 346
spectrografie, 247
spectroscop, 87
statica, 16, 45
statistică, 126
— Bose-Einstein, 307
— cuantică, 306—307
— Fermi-Dirac, 307
Ştefan-Boltzmann, legea ~, 140

Stern, Otto, 286
Stevinus, Simon, 44—45, 123
— lanţul lui ~, 44—45
Stokes, F.W.S., 243
Strassman, Fritz, 340
structura nucleară, 320—321, 335—340
submarin atomic, 346.
sunet
— , propagarea sunetului, 136—138
— , viteza sunetului, 186
Szillard, Leo, 327
şcoala distanţei
— peripatetică, 14
şcoala pitagoreică, 62
şoc staţionar, 138
Şurubul lui Arhimede, 25

tangenta, 66
tauon, 364
telescop, 60—62, 90
Teller, Edward, 361
temperatură absolută, 108—111
teorema binomului 66
teorema lui Pitagora, 77
teoria cinetică a căldurii, 126—132, 135, 176, 256
— cuantică, 181, 198, 267—268, 271, 284—285, 300, 361, 368—369, 372
— electromagnetică a luminii, 180, 264
— gravitaţiei, 223—226
— lui Heisenberg, 286—288, 292, 294—295
— — Planck, a radiaţiei termice, 260—262, 265, 275, 290, 294
— numerelor, 371
— ondulatorie a luminii, 93, 186, 187
— relativistă a gravitaţiei, 223 — 226, 256
— relativităţii, 47, 59—60, 68, 136, 189, 198, 200—201, 205, 211, 256, 294—295, 298
— unificată a cîmpului, 172, 236—237
termodinamica, 116
termometre, 106—111
termometru cu gaz, 108—111
termoscop, 107, 108
theton, 364
Theon, 36
Thompson, Benjamin, 113—114
Thomson, Joseph, John, 240—244, 245, 249—253, 285, 328
timp de înjumătăţire, 312, 314, 316
toriu, 310, 312, 315
Tratat despre lumină, 95—97
transformări, galileiană a coordonatelor, 206
— Lorentz, 207—208,
trigonometrie, 35
tritiu, 350, 352
Tuve, Merle, 342
ţipar electric, 153—154

unde electromagnetice de lumină, 245
— de şoc, 137—138
— pilot, 284
— de Broglie, 283—287, 288, 317—320
— — — materie, 283—288
unitate electromagnetică, 180
— electrostatică de sarcină 151, 180
— imaginară, 218, 221—223

uraniu, 309, 310, 312, 314, 315, 340, 341, 342, 343, 344
uranil, 308—309
Urey, Harold, 350

Van de Graaff, accelerator ~, 331
viteza luminii
— — în aer, 184—185
— — în spațiu, 198—199
— — într-un mediu în mișcare, 186—189
— — pe pământul în mișcare, 189—194
— sunetului, 186
Volta, Alessandro, 154—157, 164
volți, 157

Walton, E.T.S., 148, 330, 347
Watt, James, 215
Weizsäcker, Carl von ~, 348
Weyl, Hermann, 236
Wheeler, John, 336—337, 342
Wien, Wilhelm, 139
Wilson, C.T.R., 243, 328

Yang, Chen Ning, 365—366
Young, Thomas, 100—101, 187
Yukawa, Hideki, 355, 360, 362
yukoni, 356

„Zeitschrift der Physick", 286, 348

Cuprins

	PREFAŢĂ	7
I.	ZORII FIZICII	9
II.	EVUL MEDIU ŞI RENAŞTEREA	37
III.	DUMNEZEU A SPUS: „SĂ FIE NEWTON"	65
IV.	CĂLDURA CA FORMĂ A ENERGIEI	106
V.	EPOCA ELECTRICITĂŢII	145
VI.	REVOLUŢIE RELATIVISTĂ	182
VII.	LEGEA CUANTELOR	238
VIII.	NUCLEUL ATOMIC ŞI PARTICULELE ELEMENTARE	308
	REFERINŢE BIBLIOGRAFICE	375
	INDICE ALFABETIC	377